Physikalisches Lexikon.

Encyklopädie

der

Physik und ihrer Hilfswissenschaften: der Technologie, Chemie, Meteorologie, Geographie, Geologie, Astronomie, Physiologie 2c. nach dem Grade ihrer Verwandtschaft mit der Physik.

Zweite,

in Verbindung mit mehren Gelehrten unter Benutzung der neusten Schriften des In- und Auslandes neu bearbeitete, mit Angabe der Literatur und der Quellen bereicherte, mit mehren Tausend in den Text gedruckten Abbildungen von Apparaten, Instrumenten und Maschinen ausgestattete und zahlreiche Tabellen enthaltende Auflage.

Begonnen von

Professor Dr. Oswald Marbach.

Fortgesetzt von

Dr. C. S. Cornelius,

Docent der Physik an der Universität Halle.

Dritter Band.

F—H.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1854.

Fadenkreuz, s. **Fernrohr**.

Fällung, **Präcipitation**. Jeder durch Einwirkung von Agentien aus einer Auflösung in fester oder flüssiger Form ausgeschiedene Körper heißt Fällung, Niederschlag, Präcipitat, gleichviel, ob er sich am Boden ausscheidet, oder ob er specifisch leichter ist, als die Flüssigkeit, in welcher er entsteht. Die Agentien, Fällungsmittel, bewirken diese Ausscheidung entweder in Folge der Aenderung der chemischen Verwandtschaft, oder der Adhäsion (Flächenanziehung).

Durch Auflösungen schwefelsaurer oder kohlensaurer Salze werden z. B. Kalk und Baryt, durch Salzsäure Silber gefällt. Je nachdem die Silberlösung zur salzsäurehaltigen Flüssigkeit, oder diese zu jener hinzugesetzt wird, heißt bald das eine, bald das andere Fällungsmittel und zwar immer diejenige Flüssigkeit, welche in eine andere eingetragen wird. Nicht in allen Fällen aber ist es gleichgültig, ob man die Flüssigkeit A zu B, oder B zu A hinzusetzt; denn die Präcipitate sind bisweilen in beiden Fällen verschieden. Auf die Beschaffenheit der Niederschläge haben übrigens mancherlei Umstände großen Einfluß, als z. B. Temperatur, Concentration der Lösungen 2c.

Man kann Niederschläge erzeugen, durch doppelte Zersetzung oder durch unmittelbare Vereinigung des Fällungsmittels mit der zu fällenden Substanz oder durch Entziehung des Lösungsmittels, durch galvanische Einwirkung 2c. Bisweilen entstehen auch Niederschläge durch bloße Aenderung der chemischen Verwandtschaft, ohne daß eine fällende Substanz angewendet wird; so wird aus einer verdünnten Lösung des essigsauren Eisenoxyds durch Erhitzen Eisenoxyd ausgeschieden.

Eine andere Art von Fällung, durch welche große Gebirgsmassen entstanden sind (Kalktuff), wird durch Entweichen von Kohlensäure bewirkt, welche den kohlensauren Kalk in Wasser gelöst hält. Die aus dem Wasser sich absetzenden Thon- und Sandlager, welche nicht aufgelöst, sondern nur darin aufgeschlämmt waren, werden in der Geologie Niederschläge genannt.

Durch Flächenanziehung wirkt insbesondere die Thierkohle, wie z. B. bei der Entfärbung des rothen Weins, beim Entfuseln des Alkohols, bei der Reinigung des Rohzuckers 2c.

Die Niederschläge werden je nach dem Ansehen und der äußeren Beschaffenheit unterschieden in pulvrige (kohlensaurer Baryt, kohlensaures Blei), krystallinische

(saures, weinsaures Kali), flockige (Kupferoxyd), käsige (Chlorsilber) und gelatinöse (Thonerde). Wenn die Niederschläge schwach sind, so bewirken sie nur eine Trübung.

Harting *) unterscheidet vier Hauptformen der Niederschläge, welche als die Elementarformen der mikroskopischen unorganischen festen Theilchen anzusehen sind, und zwar die krystallinische, moleculäre, durchscheinend häutige und gelatinöse Form, aus welchen Formen sich alle übrigen herleiten lassen, entweder durch Verbindung der primären Formen oder durch Aufeinanderhäufung der kleinsten Theilchen. Bei der moleculären Form (Gold durch Eisenvitriol gefällt) ist die Gestalt der kleinsten Theilchen schwer zu bestimmen; in der Regel zeigen sie sich als kleine rundliche Theilchen gewöhnlich von $^1/_{1000}$ Millimeter Durchmesser. Sie vereinigen sich gern zu Flocken oder zu Lamellen. Die durchscheinend häutigen Niederschläge (Eisenoxydulhydrat durch Kalk aus Eisenvitriollösung gefällt) verwandeln sich sehr bald nach der Fällung in Molecüle, wobei das Häutchen selbst merklich dünner und lockerer wird (z. B. durch Kali gefälltes Eisenoxydhydrat). Harting bezeichnet diese Form als die häutig moleculäre Form. — In den durchsichtigen gelatinösen Niederschlägen beobachtet man keine Bildung von Molecülen, sie erleiden überhaupt keine Veränderung. Die flockige und lamellare Form sind secundäre Formen, sie entstehen durch Verbindung der Molecüle in moleculären Niederschlägen oder beim Umwandeln der häutigen Form in die moleculäre. Die granulöse Form endlich ist tertiärer Bildung; sie bildet sich im Innern der Flocken durch Vereinigung mehrerer Molecüle. Die Körner haben die Form von Kugeln oder Ellipsoiden, oder sind unregelmäßig, und zeigen im Innern bisweilen einen Kern. H. Rt.

Fäulniß. Die organischen Substanzen, die Erzeugnisse des Thier- und Pflanzenlebens, durch die Zahl ihrer Atome und durch die große Anzahl ihrer Aequivalente vor den unorganischen ausgezeichnet, zersetzen sich, wenn sie nicht mehr unter dem Einflusse der Kräfte stehen, unter welchen sie sich gebildet haben und dagegen der Einwirkung von Feuchtigkeit, Luft, Wärme ausgesetzt werden; die Elemente folgen den Gesetzen der durch ihre eigenthümliche Natur bedingten Affinität und treten zu einfacheren Verbindungen zusammen. Man bezeichnete mit freiwilliger Zersetzung, Fäulniß, Gährung, Verwesung, Vermoderung, nur einige der hierher gehörigen Zersetzungsprozesse, während manche andere, die im Wesentlichen mit diesen übereinkommen, von dem Begriffe dieser Namen ausgeschlossen blieben.

Liebig hat es versucht, so weit es nach den bisherigen Erfahrungen möglich ist, die Begriffe, welche man mit Fäulniß, Verwesung, Vermoderung verbindet, genauer festzustellen. Er bezeichnet die Zersetzungsprozesse, welche unter Wasser vor sich gehen und bei denen die Elemente des organischen Körpers in neue Verbindungen zusammentreten, ohne daß eines derselben frei wird, mit Fäulniß. Das Wasser nimmt an der Zersetzung und der neuen Gruppirung der Elemente einen bestimmten Antheil. Zersetzungen, in denen vorzugsweise der Sauerstoff der Luft thätig ist, so daß eine Oxydation, langsame Verbrennung stattfindet,

---

*) Bulletin des sc. phys. et nat. en Neerlande. 1840. p. 287. Berzelius Jahresbericht. Bd. XXII. S. 33.

nennt Liebig Verwesung. Gemischte Prozesse dagegen, welche nur unter mangelhaftem Luftzutritt vor sich gehen, bezeichnet Liebig mit Vermoderung. Die Alkoholgährung ist im Wesentlichen also als ein Fäulnißprozeß zu betrachten, von dem sie nur dadurch verschieden ist, daß bei derselben geruchlose gasförmige Producte gebildet werden; die saure Gährung dagegen fällt, weil sie wesentlich eine Oxydation des Alkohols ist, mit der Verwesung zusammen.

Die Zersetzungsprozesse sind, abgesehen von der chemischen Natur der organischen Körper, an folgende Bedingungen geknüpft:

1) Eine bestimmte Temperatur.

Im Allgemeinen ist eine Temperatur von 10 — 40° C. erforderlich; doch sind verschiedene Grade für gewisse Umsetzungen günstiger, als andere. Die Alkoholgährung geht am besten zwischen 18 — 25°, die saure Gährung dagegen zwischen 25 — 35°. Unter 0 Grad erstarren die flüssigen Theile der organischen Substanzen, daher dann die meisten Zersetzungsprozesse gänzlich aufhören müssen.

2) Gegenwart von Wasser.

Das Wasser ist nicht allein deswegen nothwendig, weil seine Elemente unter Umständen zur Bildung der neuen Producte unentbehrlich sind, sondern es ertheilt auch, indem es den Körper auflöst oder durchdringt, den einzelnen Molecülen desselben erst die Beweglichkeit, welche sie bedürfen, um ihren Verwandtschaften zu folgen und sich in neuer Weise zu gruppiren.

3) Zutritt von atmosphärischer Luft.

Die Verwesung bedarf während ihres ganzen Verlaufs des Sauerstoffs der Luft, aber auch die Fäulniß kann erst dann eintreten, wenn Luftzutritt stattfindet; nachdem sie einmal begonnen hat, geht der Zersetzungsprozeß auch ohne diesen ungestört vor sich. (Gay-Lussac). Die Wirkung des Luftzutritts beim Einleiten des Fäulnißprozesses hat man verschiedenen Ursachen zugeschrieben. Während man sie auf der einen Seite dem rein chemischen Einflusse des Sauerstoffs beimißt, erklären sie Andere aus der Uebertragung organischer Materie, welche durch ihre Entwickelung zu Pilzen und Infusorien die Umsetzung der Elemente in neue Körper bewirken soll *). Nach den bisher aus Untersuchungen gewonnenen Resultaten ist es nicht möglich, über die eine oder die andere Ansicht bestimmt zu entscheiden; jedoch sprechen mancherlei Gründe, insbesondere viele bekannte, von der Fäulniß nur durch den Sprachgebrauch geschiedene Umsetzungen, wie z. B. der Blausäure in Ameisensäure und Ammoniak, des Harnstoffs in kohlensaures Ammoniak &c. für die erstere Ansicht, daß also der Sauerstoff der Luft bei der Einleitung der Fäulniß in rein chemischer Weise wirke. Döpping und Struve **) fanden auch, daß die Fäulniß in geglühter Luft ebenso, aber nur langsamer eintritt, als in ungeglühter, in welcher die Keime organischer Wesen unverändert enthalten sind.

Liebig hat ferner durch Berücksichtigung eines Umstandes bei dem in Rede stehenden chemischen Prozesse viel zum Verständniß derselben beigetragen. Es ist erwiesen, daß ein in Zersetzung begriffener Körper die Elemente eines andern, mit welchen er in Berührung kommt, zu ähnlichen chemischen Prozessen disponirt, ohne

---

*) Der letzteren Ansicht folgt Löwig in seinem Handbuch der organischen Chemie. Bd. I. S. 237.

**) Bullet. de St. Petersbourg. 1847.

daß die Gesetze der Verwandtschaft in gewöhnlicher Weise dabei in Betracht kommen. Durch Uebertragung dieser Thatsache auf die Erscheinungen der Fäulniß, Gährung und ähnliche Vorgänge wurde Manches aufgeklärt, was nach den Verwandtschaftsgesetzen unerklärlich und was von Berzelius aus einer eigenthümlichen katalytischen Kraft hergeleitet worden war. Die Bewegung der Molecüle des in Zersetzung begriffenen Körpers geht auf die Theilchen des unzersetzten Körpers über und diese erlangen auf solche Weise die Fähigkeit, in neue Verbindungen sich zu gruppiren; die Wirkung der Hefe bei der Alkoholgährung, die Uebertragung der Fäulniß von faulenden Substanzen auf nahe gelegene organische Stoffe und mancherlei andere Vorgänge in der organischen Natur sind nach dieser Theorie viel klarer geworden. Reines Stärkemehl, Zucker, organische Säuren und Pflanzenbasen können ohne eine solche von außen mitgetheilte Bewegung nicht in Zersetzung übergehen. Die Vorgänge bei der Zersetzung, so wie die dadurch gebildeten Producte sind abhängig von den Verhältnissen, unter welchen die Zersetzung erfolgt und von der Zusammensetzung der organischen Substanz. Diese Vorgänge sind insbesondere deswegen schwierig zu bestimmen, weil die zunächst entstehenden Verbindungen weiter zerfallen und in neue Verbindungen übergeführt werden. Im Allgemeinen ist folgendes erweislich.

Die stickstoffhaltigen Verbindungen gehen am leichtesten in Fäulniß über, eine Erscheinung die sich aus dem Indifferentismus des Stickstoffs erklärt. Der Stickstoff verbindet sich mit Wasserstoff zu Ammoniak, der Kohlenstoff mit dem freigewordenen Sauerstoff zu Kohlensäure, oder mit Wasserstoff zu einem Kohlenwasserstoff. Wenn Schwefel und Phosphor vorhanden sind, so verbinden sich diese mit Wasserstoff zu Schwefel- und Phosphorwasserstoff.

Stickstofffreie Körper zersetzen sich bei der Fäulniß in Stoffe, von welchen die einen den Wasserstoff des Wassers, die anderen dagegen den Sauerstoff desselben enthalten; es bilden sich Kohlensäure, Kohlenwasserstoffe, oder auch Oxyde von Kohlenwasserstoffen.

Bei der Verwesung stickstofffreier Körper verbindet sich der Sauerstoff zunächst mit dem Wasserstoff der organischen Substanz; die rückständige Substanz nimmt hierauf mehr Sauerstoff auf, es bilden sich Oxyde von Kohlenwasserstoffen, oder Kohlensäure, welche aus dem Kohlenstoff und Sauerstoff der organischen Masse entsteht. Stickstoffhaltige Körper bilden in der Verwesung Ammoniak, und bei sehr reichlichem Zutritt von Sauerstoff entwickelt sich bisweilen Stickstoff oder bei Anwesenheit einer starken Base Salpetersäure (Salpeterbereitung). Im letzteren Falle oxydirt sich das Ammoniak weiter zu Wasser und Salpetersäure. Im Uebrigen sind die Verwesungsproducte dieselben wie bei den stickstofffreien Körpern.

Kennt man die Bedingungen, unter welchen die Fäulniß entsteht, so ist es leicht, die Wirkung der sogenannten antiseptischen oder fäulnißwidrigen Mittel zu verstehen. Sie wirken wie sich ergiebt, entweder dadurch, daß sie die bedingenden Umstände der fauligen Zersetzung aufheben, oder daß sie mit den organischen Stoffen Verbindungen eingehen, in welchen die Elemente die Leichtigkeit, sich neu zu gruppiren nicht mehr besitzen.

Wenn Wärme, Luft und Wasser von den organischen Substanzen fern gehalten werden, so wird die Fäulniß verzögert, oder ganz verhindert. Die kräftige Wirkung der Kälte ist bekannt; dieselbe wirkt auch dadurch, daß sie das Wasser in der organischen Substanz durch Ueberführung in Eis unwirksam macht.

Dem Einflusse der Feuchtigkeit wirkt das Austrocknen entgegen, die Wirkung des gebräuchlichen antiseptischen Mittels, des Kochsalzes und Salpeters, auch des Alkohols beruht auf Wasserentziehung.

Die Verhinderung des Zutretens von Sauerstoff ist eine dritte Bedingung zum Entgegenwirken der Fäulniß. Die Appert'sche Methode, Nahrungsmittel durch Auskochen und Einschließen derselben in hermetisch dichten Gefäßen haltbar zu machen, beruht auf diesem Princip: der in den Speisen enthaltene Sauerstoff wird nämlich durch längeres Kochen vollständig in Kohlensäure umgewandelt. Bekanntlich conservirt man auch die Eier auf die Weise, daß man sie in Kalk eintaucht, welcher die Poren der Eierschalen verstopft. Alle Substanzen, welche den Sauerstoff begierig absorbiren, wirken antiseptisch, wie die schweflige Säure, Schwefelblumen, Eisenfeilspähne, Stickoxydgas &c.

Eine zweite Classe von antiseptischen Mitteln bilden diejenigen Substanzen, welche mit den stickstoffhaltigen, namentlich eiweißartigen Körpern, den vorzüglichsten Erregern der Fäulniß, Verbindungen eingehen, in welchen die Elemente ihre Beweglichkeit oder ihre Fähigkeit sich umzusetzen verlieren. Ebenso wie z. B. Mangansäure, Eisensäure &c. beständig sind, so lange sie mit der Basis verbunden bleiben, so gewinnen die organischen Stoffe durch Ueberführung in ähnliche Verbindungen an Beständigkeit. Auf diese Art ist die Wirkung der Mineralsäuren, des Holzessigs, der arsenigen Säure, Gerbsäure, des Quecksilberchlorids, des schwefelsauren Zinkoxyds, des Zinkchlorürs, der schwefelsauren Thonerde und anderer mehr zu erklären. Das Leder z. B. verdankt seine Dauerhaftigkeit nur einer chemischen Verbindung der leimgebenden Gewebe mit Gerbsäure. Geräuchertes Fleisch wird deswegen haltbar, weil die unter den flüchtigen Producten der Verbrennung des Holzes befindliche Substanz, das Kreosot, das Eiweiß coagulirt, wodurch die Fleischstücke mit einer für die Luft undurchdringlichen Schicht überkleidet werden.

Um Leichen zu conserviren bedient sich Gannal im Wesentlichen der Injection von Auflösungen schwefelsaurer oder essigsaurer Thonerde und arseniger Säure. Anatomische Präparate, welche noch weiter zerlegt werden sollen, können mit den Salzen der Thonerde hinreichend conservirt werden. Sucquet empfiehlt zu diesem Zwecke die Injection des schwefligsauren Natrons und Eintauchen der Präparate in Zinkchlorür; Robin fand hierzu das unterschwefligsaure Zink, Falcony und Filhol das schwefelsaure Zink sehr geeignet.

Auf welche Weise die alten Aegypter ihre Leichen einbalsamirt haben, ist noch nicht hinreichend erforscht. Es läßt sich jedoch nachweisen, daß sie außer aromatischen Substanzen insbesondere die antiseptische Kraft des Austrocknens, was an der theilweisen Verkohlung von Mumien kenntlich ist, anwendeten.

H. Rt.

Fall der Körper (lat. Descensus s. lapsus corporum gravium; franz. Chûte des corps graves; engl. Fall of gravitating bodies). Jeder Körper besitzt Schwere, d. h. er strebt mit einer seiner Masse entsprechenden Kraft nach der Mitte der Erde hin sich zu bewegen. Liegt er auf irgend einer Unterlage, so drückt er mit dieser Kraft auf dieselbe; ist er an einem Punkte aufgehängt, so zieht er an diesem mit derselben Kraft; wird ihm aber die Unterlage entzogen, oder wird er nicht mehr in dem Aufhängungspunkte gehalten, so bewegt er sich nach der Mitte der Erde hin, so weit bis er auf ein neues Hinderniß, eine neue Unterlage stößt.

Diese Bewegung der Körper durch ihre Schwere nach dem Mittelpunkte der Erde zu heißt das Fallen der Körper. Frei heißt dasselbe, wenn es dem Körper gestattet ist in dieser seiner Bewegung den ihn am schnellsten nach seinem Ziele hinführenden Weg, die Richtung der Falllinie, einzuschlagen; ein Fallen auf vorgeschriebenem Wege findet statt, wenn der Körper bei seiner Bewegung durch die Schwere durch irgend welche Mittel gezwungen ist von der Falllinie abzuweichen. (Vergl. Art. Bewegung. Bd. I. S. 811).

I. Freier Fall.

Denken wir uns alle Körper aus sehr kleinen einzelnen, unter einander gleich großen und gleich schweren Theilchen, zusammengesetzt, deren größere oder geringere Zusammenhäufung in ein bestimmtes Volumen die größere oder geringere Dichte des Körpers bestimmt, so ist an sich klar, daß, da diese Massentheilchen alle unter einander gleich schwer sind, die Schwere aber die einzige Ursache des Fallens ist, alle aus gleicher Höhe über der Erde auf diese herabfallenden Massentheilchen, zugleich auf der Oberfläche der Erde ankommen, alle mit derselben Geschwindigkeit fallen werden. Wie nahe an einander die Massentheilchen dabei sein werden, kann keinen Einfluß auf das Fallen haben; und wir müssen also den Schluß ziehen, daß alle Körper (als aus solchen unter einander gleichen Körpertheilchen zusammengesetzt) in gleicher Zeit von gleicher Höhe auf die Erde herabfallen werden. Die Erfahrung scheint hiergegen zu sprechen: lassen wir aus gleicher Höhe zu gleicher Zeit einen Stein und eine Feder herabfallen, so wird der Stein eher den Boden erreichen als die Feder. Wir müssen aber bedenken, daß das Fallen, wenn wir es so ohne weiteres in der uns umgebenden Atmosphäre vornehmen, keineswegs ungehindert geschieht, sondern daß die Luft einen, wenn auch geringen Widerstand leistet. Die Luft wird von den fallenden Körpern zusammengedrückt und zwar in einer Ausdehnung, die dem Volumen des fallenden Körpers entspricht; einem Körper von einer gewissen Masse in kleinem Volumen wird sie daher geringeren Widerstand leisten müssen, als einem Körper von gleicher Masse in verhältnißmäßig großem Volumen; noch bei weitem größeren Widerstand aber einem Körper von weniger Masse in gleichem oder gar größerem Volumen. Daß in der That die Luft der einzige Grund ist, warum die Körper mit verschiedener Geschwindigkeit zur Erde sinken bestätigen Versuche aufs überzeugendste. Wenn man nämlich Körper von verschiedenem Gewichte, z. B. ein Stück Metall und eine Feder im möglichst luftleeren Raume (der Luftpumpe) aus gleicher Höhe herabfallen läßt; so findet sich, daß sie zu gleicher Zeit den Boden erreichen. Ja noch einfacher kann man sich davon überzeugen, wenn man auf einem Thaler ein Stück Papier von kleinerem Durchmesser legt und ihn mit seiner breiten Fläche in horizontaler Lage fallen läßt. Das Papier gelangt mit dem Thaler zu gleicher Zeit auf dem Boden an, weil der Thaler dem Papiere den Widerstand der Luft überwindet. Am schlagendsten aber wird der Beweis, daß alle Körper gleich schwer sind, durch das Pendel geführt, worüber dieser Artikel das Nähere enthält.

Jede Bewegung setzt eine Kraft als bewegende Ursache voraus, und man unterscheidet, ob die Kraft nur momentan auf den in Bewegung befindlichen Körper gewirkt hat, oder ob dieselbe ohne Unterlaß auf den Körper wirkt. Abgesehen von allen entgegenwirkenden, die Bewegung verzögernden oder ganz aufhebenden

Kräften, so wird im ersten Falle der Körper mit derselben durch die momentan wirkende Kraft ihm mitgetheilte Geschwindigkeit ohne Aufhören sich fortbewegen, im zweiten Falle wird die Bewegung immer schneller werden, indem in jedem Augenblicke die schon erlangte Geschwindigkeit bleibt, und eine neue durch die ohne Aufhören auf ihn wirkende Kraft noch hinzukommt; der Körper hat eine gleichförmig beschleunigte Bewegung. Vergl. Art. Bewegung Bd. I. S. 808.

Die bewegende Ursache, welche das Fallen der Körper zur Folge hat, heißt Schwerkraft; es fragt sich nun, ob dieselbe eine nur momentan oder eine fortwährend auf den Körper wirkende Kraft sei, um zu entscheiden, ob der freie Fall eine beschleunigte Bewegung sei oder nicht. Alle Erscheinungen der Schwere sind als ein Erfolg der gegenseitigen Anziehung der Erde und der fallenden Körper zu betrachten, und da diese Anziehung stets stattfindet, so bewirkt mithin eine fortwährend wirkende Kraft das Fallen der Körper, und die Bewegung ist also eine beschleunigte. Eine zweite Frage ist die, ob die Schwere stets mit derselben Stärke wirkt; denn nur dann ist die Bewegung gleichförmig beschleunigt. Diese Frage ist mit Hülfe des Pendels entschieden worden (vergl. d. Art. Pendel), und da hat sich herausgestellt, daß die Schwerkraft an jedem Orte eine andere Stärke hat. Der Raum nämlich, welchen ein freifallender Körper in der ersten Secunde zurücklegt, ist wegen der Abplattung der Erde (vergl. d. Art. und Art. Erde) nicht überall auf der Erde gleich groß; denn während derselbe am Aequator = 15,0527 Par. Fuß beträgt, hat er unter 45 Grad Breite den Werth: 4,945 Meter, oder 15,09176 Par. Fuß, oder 16,08596 engl. Fuß, oder 15,515 Wiener Fuß, oder 15,625 preuß. Fuß, überhaupt ist:

$$g_\beta = g_\alpha\,(1 + 0{,}0051974 \sin \beta^2)$$

wenn g_α den Weg in der ersten Secunde beim freien Falle am Aequator und g_β dasselbe in der Breite β bedeutet. Ebenso ergiebt sich der Fallraum der ersten Secunde in größerer Entfernung von der Oberfläche der Erde kleiner, als in geringerer Entfernung von derselben. Zu bemerken ist indessen, daß der Unterschied hinsichtlich der Werthe des Fallraumes der ersten Secunde nur an Orten beträchtlich sich herausstellt, welche in horizontaler oder vertikaler Richtung weit aus einander liegen. Bezeichnen wir mit g den Weg in der ersten Secunde beim freien Falle an der Oberfläche der Erde und mit g_1 in der Höhe h über derselben, so erhalten wir für den Halbmesser der Erde $= r$ allgemein:

$$g : g_1 = (r + h)^2 : r^2, \text{ also:}$$

$$g_1 = g\left(\frac{r}{r + h}\right)^2.$$

Ist nun $r = 860$ und $h = 1$ Meile, so ist

$$g_1 = g\left(\frac{860}{861}\right)^2 = 0{,}998 \,.\, g,$$

also der Unterschied selbst bei einem Falle aus einer Höhe von einer Meile über der Oberfläche der Erde nur unbedeutend.

Befindet sich ein Körper innerhalb der Erde, so erleidet das Gesetz der Schwere eine Aenderung, in sofern die Anziehung der unter ihm befindlichen Erdmasse durch die Anziehung der über ihm vorhandenen theilweise aufgehoben wird.

Daß im Mittelpunkte der Erde die Anziehung = 0 sein würde, versteht sich von selbst. Da alle Fallversuche und Beobachtungen, welche wir machen können, in einem sehr beschränkten Raume (im Verhältniß zum Halbmesser der Erde von ungefähr 860 Meilen Länge) stattfinden; so können wir bei näherer Untersuchung der Gesetze des Fallens das Zunehmen der Schwere mit der Annäherung der Körper an die Oberfläche der Erde füglich außer Acht lassen und die Bewegung als eine gleichförmig beschleunigte behandeln.

Die Formeln für die gleichförmig beschleunigte Bewegung und mithin zugleich die Fundamentalgleichungen für den freien Fall finden sich in dem Art. Bewegung Bd. I. S. 813 u. 814, außerdem S. 822 bis 825. Wir ergänzen dieselben hier durch einen einen Beweis, daß wirklich $v = 2g$ ist.

Die Endgeschwindigkeit der ersten Secunde sei v; folglich ist dieselbe, da die Kraft stetig mit derselben Stärke wirkt, nach n Secunden = n . v, und folglich ist allgemein

$$T : t = V : v,$$

wenn T und t die Secunden und V und v die respectiven Endgeschwindigkeiten bezeichnen.

Ist der Weg der ersten Secunde = g, so ist der in der zweiten zurückgelegte = v + g, in der dritten = 2 v + g und in der Secunde n = nv + g; folglich erhalten wir für den in allen n Secunden zurückgelegten Weg:

$$S = n.g + (1 + 2 + \ldots + n - 1)\,v = n.g + \frac{n.n-1}{1.2}\,v.$$

Bezeichnet S_1 den Weg für die Zeit $t = n + n'$, so ist:

$$S_1 = ng + n'g + \frac{n.n-1}{1.2}\,v + \frac{n.n'}{1.2}\,v + \frac{n'(n+n'-1)\,v}{1.2} \text{ oder}$$

$$= S + n'g + \frac{n.n'}{1.2}\,v + \frac{n'(n+n'-1)}{1.2}.\,v.$$

Wäre nun $S_{,,}$ der Weg von Anfang an für n Secunden und dann noch für n' Secunden, aber von hier an nur mit der Endgeschwindigkeit von der Zeit n, also mit nv, ohne Einwirkung der Schwere zurückgelegt; so erhielten wir:

$$S_{,,} = S + n'.nv.$$

Sollten nun $S_{,,}$ und $S_,$ gleich sein, so müßte $n' = 0$ werden,

oder: $$n'g + \frac{n.n'}{1.2}\,v + \frac{n'(n+n'-1)}{1.2}\,v = n'.nv$$

oder: $$g + \frac{n}{2}\,v + \frac{n+n'-1}{2}\,v = nv.$$

Setzen wir hier $n' = 0$, so erhalten wir:

$$g = \tfrac{1}{2}\,v \text{ oder } v = 2g.$$

Die Endgeschwindigkeit der ersten Secunde muß also beim freien Falle, wie bei jeder gleichförmig beschleunigten Bewegung noch einmal so groß sein, als der Weg der ersten Secunde, d. h. ein fallender Körper würde in der zweiten Secunde ohne Einwirkung der Schwere durch einen noch einmal so großen Raum fallen, als in der ersten unter Einwirkung derselben.

Die übrigen Formeln ergeben sich nun ohne weiteres, wie a. a. O. ausgeführt ist.

Die wichtige Frage ist die, wie groß ist der Weg in der ersten Secunde. Man bezeichnet ihn allgemein mit g und nennt die Größe 2g das Maß der beschleunigenden Kraft. Weiß man g, so sind alle Verhältnisse des freien Falles leicht zu berechnen.

Für g haben wir folgende Formeln aus den Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung:

$$g = \frac{v}{2} = \frac{V}{2T} = \frac{S}{T^2} = \frac{V^2}{4S}.$$

Die Endgeschwindigkeit durch einen Versuch zu bestimmen hat große Schwierigkeiten; es bleibt also nur noch $g = \frac{S}{T^2}$ übrig, um darauf einen Versuch zu gründen, durch welchen man g ermitteln könnte. Wir werden also einen Körper durch einen genau gemessenen Raum fallen lassen, hierbei die Fallzeit beobachten und dann den in Fußen ausgedrückten Fallraum durch das Quadrat der in Secunden ausgedrückten Fallzeit dividiren. Derartige Versuche, zugleich in der Absicht die Art der Bewegung beim freien Falle zu untersuchen und namentlich sich von der wirklich stattfindenden gleichförmig beschleunigten Bewegung zu überzeugen, unternahmen Riccioli und Grimaldi *) auf dem Thurme degli Asinelli in Bologna mit einer Fallhöhe von 280 Fuß, wobei sie die Zeit mit einem Pendel beobachteten, welches Sechstel-Secunden schlug. Dechales **) beobachtete die Fallzeit an Steinen, die er in einen Brunnen fallen ließ, auch suchte er den genauen Fallraum während eines halben Pendelschlags verschiedener Pendel zu ermitteln. Am vollkommensten sind die Versuche, welche Benzenberg ***) 1801 und 1802 in dem Michaelisthurme zu Hamburg und 1803 im Kohlenbergwerke zu Schlebusch in der Grafschaft Mark in einem Schachte anstellte. Außerdem können hierher die interessanten Versuche von Reich ****) gerechnet werden, welche derselbe im Dreibrüderschachte bei Freiberg mit der größten Genauigkeit ausführte.

Bedient man sich bei derartigen Versuchen bleierner Kugeln oder sogar solcher von Platin, um den Widerstand der Luft möglichst unmerklich zu machen, so bieten sie doch nicht die nöthige Zuverlässigkeit selbst bei Zuhülfenahme einer Tertienuhr; wir übergehen daher die durch diese Versuche gefundenen Zahlenwerthe, zumal durch Pendelversuche der Werth von g sich viel genauer ermitteln läßt und ermittelt worden ist. Wegen der Anwendung das Pendels zu diesen Bestimmungen verweisen wir jedoch auf den Artikel Pendel, im Uebrigen uns auf den oben bereits gegebenen mittleren Werth der Größe der Beschleunigung beziehend. Auf andere Methoden den Werth von g zu bestimmen, werden wir noch in diesem Artikel kommen und in dem Artikel: Fallmaschine.

---

*) Riccioli Almag. Nov. Lib. II. cap. 21.
**) Cursus mathematicus. Tom. II. Stat. Lib. II. propos. I. II.
***) Versuche über das Gesetz des Falles. Dortmund 1804.
****) Fallversuche über die Umdrehung der Erde. Freiberg 1832, auch Poggend. Ann. Bd. XXIX. S. 494.

Nehmen wir den mittleren Werth für $g = 15{,}625$ preuß. Fuß, so erhalten wir für die ersten acht Secunden folgende Bestimmungen:

Secunden	1	2	3	4	5	6	7	8
Endgeschwindigkeiten	31,25	62,5	93,75	125	156,25	187,5	218,75	250
Von Anfang an zurückgelegte Wege	15,625	62,5	140,625	250	390,635	562,5	765,625	1000
Wege in den einzelnen Secunden	15,625	46,875	78,125	109,375	140,625	171,875	203,125	234,375

Bis jetzt ist angenommen worden, daß der fallende Körper vor Anfang des Falles gar keine Geschwindigkeit hatte. Hätte derselbe aber schon eine bestimmte Geschwindigkeit besessen oder, was dasselbe ist, hätte ihm gleichzeitig mit der Schwere im Anfange der Bewegung eine auf ihn momentan in der Richtung der Falllinie wirkende Kraft noch eine bestimmte Geschwindigkeit ertheilt; so würde diese in jeder Stelle seines Weges noch zu der ihm in Folge der Schwere zukommenden Geschwindigkeit hinzukommen, und der von einem Körper unter solchen Umständen durchlaufene Raum, der Fallraum, würde gleich der Summe der Räume sein, deren einen allein er vermöge seiner ihm durch die Schwere ertheilten Bewegung, und deren anderen er in Folge der momentan auf ihn wirkenden Kraft durchlaufen haben würde.

Eine Kraft, welche momentan in einem der Schwere gerade entgegengesetzten Sinne auf einen Körper wirkt, kann die Schwere selbst überwinden, und den Körper zur Bewegung in verticaler Richtung in die Höhe bestimmen; da aber die Schwere fortwährend der ihn aufwärts treibenden Geschwindigkeit entgegenwirkt, so muß diese mehr und mehr abnehmen, je weiter der Körper von der Erde sich entfernt, endlich $= 0$ werden, und der Körper muß nun dem Gesetze der Schwere folgend wieder herabfallen. Die Bewegung eines vertical aufwärts geworfenen Körpers ist mithin, so lange er sich aufwärts bewegt, eine gleichförmig verzögerte. Die für diese beiden Fälle geltenden Formeln finden sich in den Artikel Bewegung Bd. I. S. 814. Hier sei nur noch mit Bezug auf den letzten Fall bemerkt, daß — abgesehen von allen Hindernissen, also mit Nichtbeachtung des Luftwiderstandes, was überdies bei allen diesen Betrachtungen vorausgesetzt ist, — um einen Körper bis zu einer gegebenen Höhe zu werfen, man ihm durch einen Impuls (Stoß) genau dieselbe Geschwindigkeit mitzutheilen hat, die er beim freien Falle von dieser Höhe als Endgeschwindigkeit erlangt haben würde. Umgekehrt trifft aber auch unter den angegebenen Umständen ein Körper mit derselben Geschwindigkeit wieder auf den Boden auf, mit der er von demselben aufwärts geworfen wurde, und hat überhaupt in jedem Punkte seiner Bahn beim Herabfallen dieselbe Geschwindigkeit, welche er in demselben Punkte beim Aufsteigen hatte.

Um den Unterschied des Fallens der Körper im leeren Raume und in der Atmosphäre auch an dieser Stelle nochmals hervorzuheben, sei bemerkt, daß der

Fall in der Atmosphäre nicht nur gleichförmig, sondern sogar bei der wachsenden Dichte der Luft in den unteren Schichten verzögert werden kann. Die verheerende Wirkung des Hagels würde z. B. noch viel bedeutender sein, wenn der Widerstand der Luft nicht die Geschwindigkeit des Falles verringerte.

Diese Gesetze des freien Falles der Körper, welche die Basis der ganzen neueren Mechanik ausmachen, haben ihre Begründung durch Galilei*) erhalten, aber nicht ohne Kampf verschaften sie sich Anerkennung. Varro**) hatte eine andere Ansicht aufgestellt, daß nämlich die Geschwindigkeit des fallenden Körpers dem durchfallenen Raum proportional sei; auch Baliani***) war dieser Meinung. Galilei selbst betrachtete seine Gesetze als bloße Regeln für die Erscheinung ohne alle Beziehung auf die Ursache; er sagt sogar: die Ursache dieser Gesetze ist kein nothwendiger Theil der Untersuchung; es ist gegenwärtig genug, die Eigenschaften dieser Bewegung kennen zu lernen, und wenn diese durch Experimente bestätigt werden, so mögen wir daraus den Schluß ziehen, daß die gefundenen Gesetze die wahren sind. — Den Begriff der Schwere als einer stetig wirkenden Kraft aufzufassen, machte damals große Schwierigkeiten, selbst Descartes scheint darüber noch nicht im Klaren gewesen zu sein.

Um seine Sätze zu prüfen, ließ Galilei in einem 12 Ellen langen $1^1/_2$ Ellen hohen, 3 Zoll breiten Balken einen Kanal aushöhlen, den er mit Pergament belegte, um ihn glatter zu machen. Diesen Balken konnte er an einem Ende mehr oder weniger erheben, und so beobachtete er die Zeit, welche eine glatte messingene Kugel brauchte, um gewisse Räume zu durchlaufen; es fand sich, daß die durchlaufenen Räume wie die Quadrate der Zeiten sich verhielten.

II. Fall auf vorgeschriebenem Wege.

A. Auf einer schiefen Ebene.

Die Bewegung eines Körpers auf einer schiefen Ebene (vergl. Art. Ebene Bd. II. S. 585) ist einer der einfachsten Fälle, den man bei dem Falle auf vorgeschriebenem Wege betrachten kann. Wird der Körper hierbei nur durch den Widerstand der Ebene in seiner Bewegung und zwar in der in verticaler Linie, zu welcher ihn die Schwere bestimmt, gehemmt, und sieht man dabei von der Reibung und allen anderen Hindernissen ab, so kann die entstehende Bewegung keine andere als eine gleichförmig veränderte sein, und es gelten daher auch hier die im Artikel Bewegung Bd. I. S. 813 und 814 aufgestellten Gesetze.

Wie bereits in dem Artikel Ebene Bd. II. S. 586 dargelegt ist, wird die Last Q (siehe umstehende Figur), wenn der Neigungswinkel C mit α bezeichnet wird, mit einer Kraft

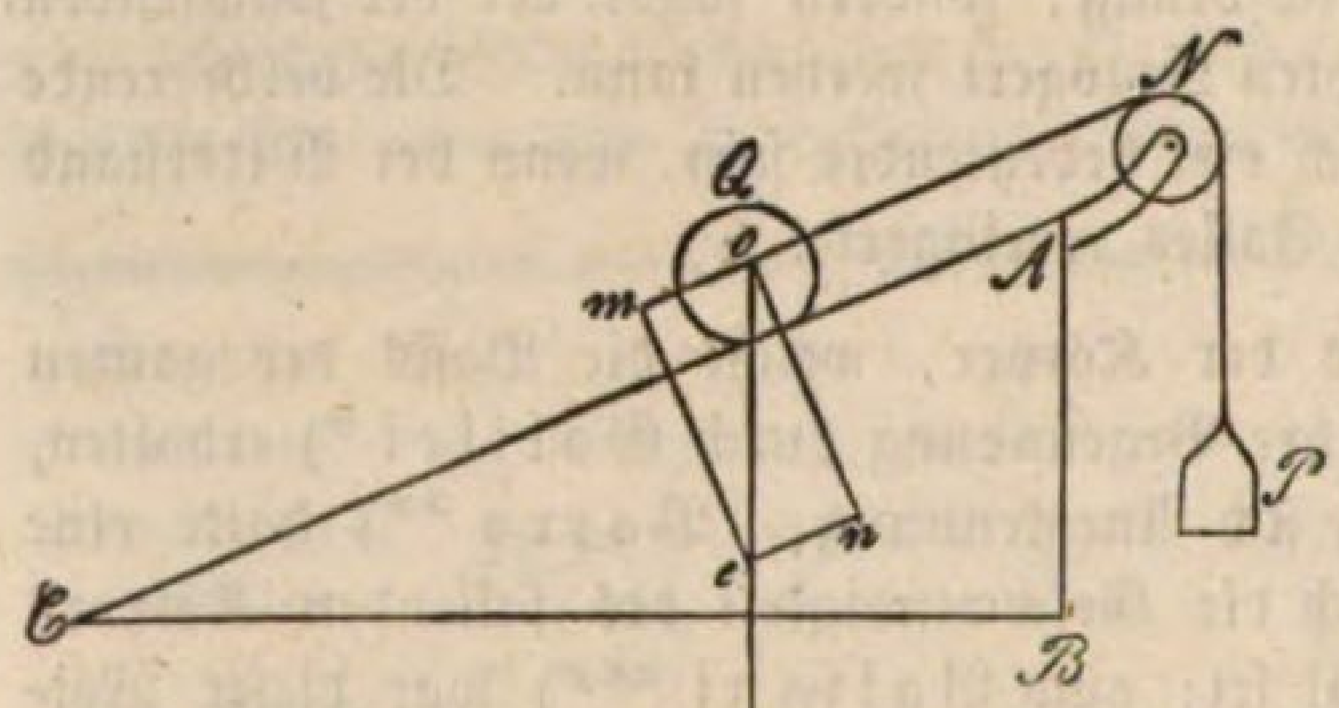
$$P = Q \cdot \sin \alpha$$

---

*) Discorsi e dimostraz. matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla mecanica ed i movimenti locali. Leid. 1638 u. Opere di Galileo Galilei, Ferenze 1718. T. II. p. 479. 585.

**) De motu tractatus. Genevae 1584.

***) De motu naturali corporum gravium etc. Genuae 1638 und vermehrt 1646.



auf der schiefen Ebene herabzugleiten streben, die man das **relative** oder **specifische Gewicht** des Körpers oder bei einem materiellen Punkte die **relative** oder **specifische Schwere** nennt. Da diese Kraft, als aus der ununterbrochen wirksamen Schwerkraft hervorgegangen, stetig wirkt und auch stets mit derselben Stärke, so muß die Bewegung eine gleichförmig veränderte sein.

Es folgt hieraus, daß die Bewegung auf der schiefen Ebene, da beim freien Falle die volle Kraft Q wirkt, hier aber nur ein Theil derselben $Q \cdot \sin \alpha$, mit einer geringeren Geschwindigkeit als beim freien Falle geschieht und zwar im Verhältniß der Höhe der schiefen Ebene zur Länge. Wir sehen hieraus, wie **Galilei** die schiefe Ebene zur Bestätigung der von ihm gefundenen Gesetze benutzen konnte. Bezeichnen wir den Weg der ersten Secunde beim freien Falle wieder mit g, so ergiebt sich für die schiefe Ebene der Weg der ersten Secunde $g_, = g \cdot \sin \alpha$, und folglich kann man die Bewegung auf der schiefen Ebene, wie es **Galilei** that, auch benutzen, um den Weg der ersten Secunde beim freien Falle zu bestimmen; dieser ist nämlich

$$g = \frac{g_,}{\sin \alpha}.$$

Beim freien Falle durch die Höhe h ist die Endgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{4\,gh},$$

auf der schiefen Ebene, wenn der Körper oder materielle Punkt von dem obersten Punkte bis zum niedrigsten herabläuft, also durch die Länge l, erhalten wir:

$$v = \sqrt{4\,g_,l} = \sqrt{4\,gh};$$

folglich **erlangt ein Körper durch den Fall auf einer schiefen Ebene dieselbe Geschwindigkeit, welche er durch den freien Fall von derselben Höhe erhalten haben würde.**

Beim freien Falle durch die Höhe h ist $t = \sqrt{\frac{h}{g}}$; in derselben Zeit ist der Weg auf der schiefen Ebene $= s = g_, \cdot t^2$, also, da $g_, = g \cdot \sin \alpha$ ist, wird

$$s = h \cdot \sin \alpha;$$

folglich **durchläuft ein Körper auf einer schiefen Ebene in derselben Zeit, in welcher er durch die Höhe derselben frei herabfallen würde, eine Strecke, welche sich zur Höhe verhält, wie diese zur Länge.**

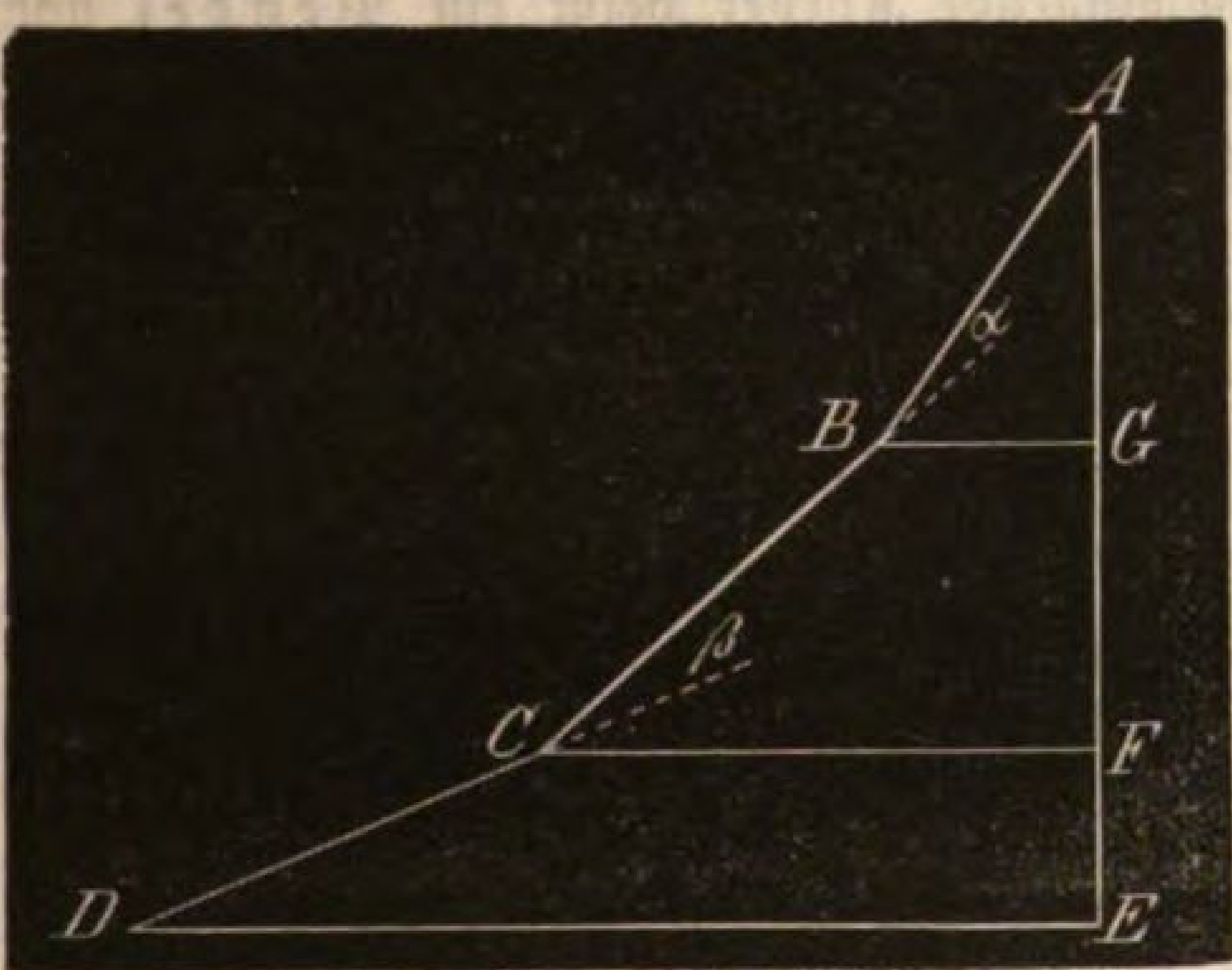
Fällt man in obiger Figur von B ein Perpendikel auf AC, so schneidet dies von A aus die Strecke ab, welche der Körper in derselben Zeit durchläuft, in welcher er AB durchfallen wäre.

Hieraus folgt, daß **in einem verticalen Kreise alle Körper die von dem höchsten Punkte ausgehenden oder nach dem tiefsten Punkte hingehenden Sehnen in derselben Zeit durchlaufen, in**

welcher sie durch den verticalen Durchmesser dieses Kreises gefallen sein würden.

Die Zeit, in welcher ein Körper die Länge der schiefen Ebene durchlaufen würde, ist $t = \sqrt{\frac{l}{g \cdot \sin\alpha}}$, die aber, in welcher er die Höhe derselben frei durchfallen würde, $= t_1 = \sqrt{\frac{h}{g}}$; folglich verhält sich die Zeit des Fallens auf der schiefen Ebene zur Zeit des freien Falles durch die Höhe dieser Ebene, wie die Länge zur Höhe *).

Bewegt sich ein Körper über mehrere mit einander zusammenhängende schiefe Ebenen (siehe beistehende Figur) AB, BC, CD, welche die Winkel α und β mit einander bilden, und zwar so, daß derselbe bei dem Uebergange aus einer Ebene in die andere kein Hinderniß findet; so erlangt derselbe, bei A anfangend, in B die Endgeschwindigkeit



$$v_1 = \sqrt{4g \cdot AG}.$$

Bei dem Uebergange auf die Ebene BC zerlegt sich die Geschwindigkeit v_1 in $v_1 \sin\alpha$ und $v_1 \cos\alpha$, von denen die erstere durch die Ebene BC aufgehoben wird, so daß nur die letztere für die zweite Ebene als Anfangsgeschwindigkeit bleibt. Nun würde für die zweite Ebene die Endgeschwindigkeit $= \sqrt{c^2 + 4gs}$ sein (vergl. Art. Bewegung Bd. I. S. 814. Nr. 12, wo $s = \frac{v^2 - c^2}{4g}$ ist), also erhalten wir, da $c = v_1 \cdot \cos\alpha$ und $s = GF$ ist:

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 \cos\alpha^2 + 4g \cdot GF},$$

folglich, wenn wir den Werth für v_1 einsetzen,

$$v_2 = \sqrt{4g \cdot AG \cdot \cos\alpha^2 + 4g \cdot GF}.$$

In gleicher Weise würde:

$$v_3 = \sqrt{v_2^2 \cos\beta^2 + 4G \cdot FE}$$

also, wenn wir den Werth für v_2 einsetzen,

$$v_3 = \sqrt{(4g \cdot AG \cdot \cos\alpha^2 + 4g \cdot GF)\cos\beta^2 + 4g \cdot FE}.$$

Wie sich der Werth der letzten Endgeschwindigkeit für noch mehr Ebenen stellen würde, ist jetzt leicht zu übersehen; auch würde es leicht sein die Zeiten zu ermitteln, welche den bei dem Uebergange von einer Ebene in die andere erlangten Endge-

---

*) Theoretische und praktische hierher gehörige Aufgaben sind enthalten in: Physikalische Aufgaben nebst ihrer Auflösung von Emsmann. Leipzig. O. Wigand. 1852. Absch. XIV. S. 44.

schwindigkeiten entsprechen würden. Wir übergehen dies und wenden das eben Gefundene auf den Fall in einer Curve an. Hier würden die Winkel α, β unendlich klein, also $\cos\alpha = \cos\beta = 1$, folglich muß die erlangte Endgeschwindigkeit sein:

$$v = \sqrt{4g\,(AG + GF + FE \ldots.)}$$

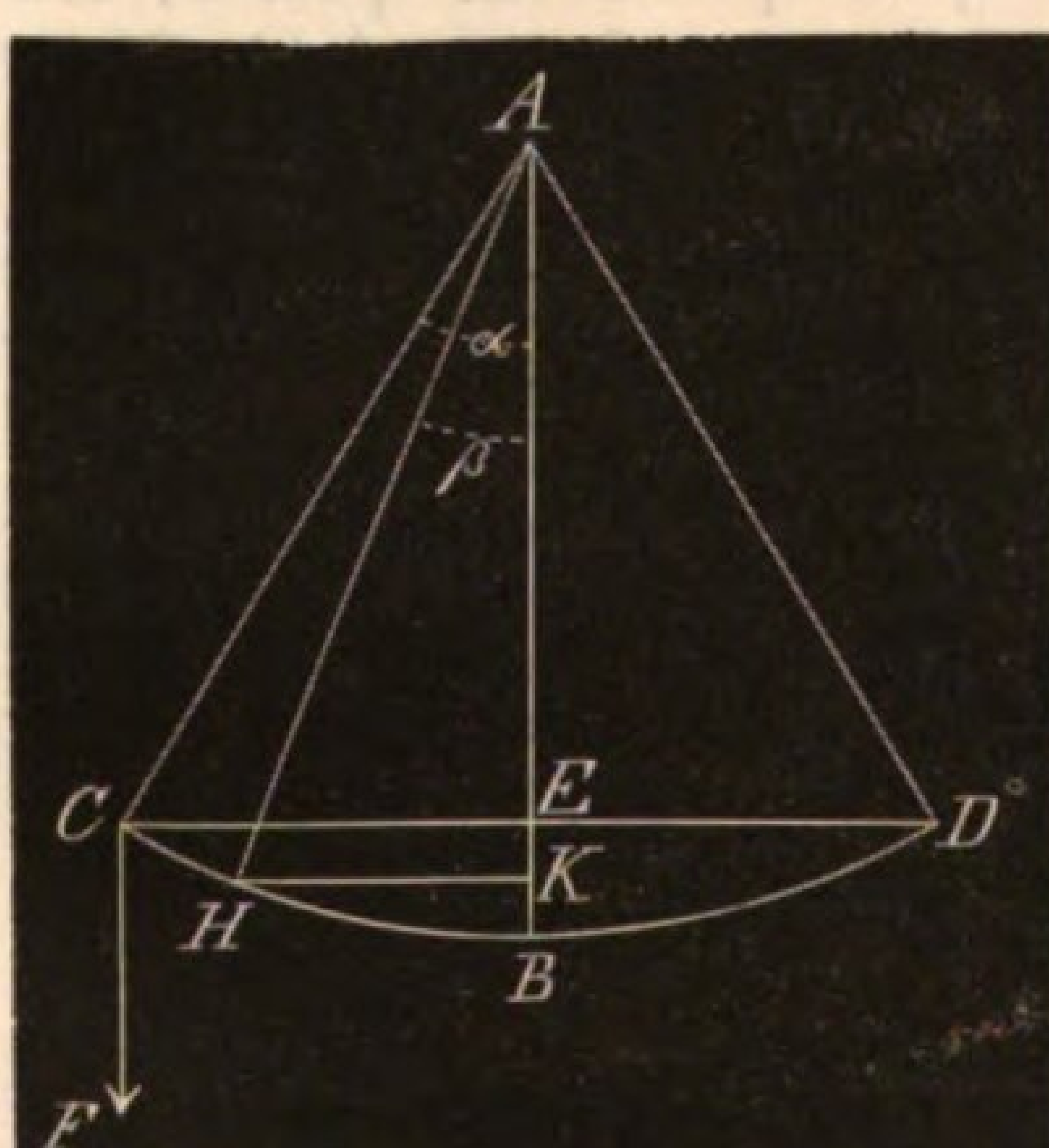
$$\text{also } v = \sqrt{4g \,.\, h}, \text{ d. h.}$$

beim Falle in einer verticalen Curve erlangt ein ohne Hindernisse fallender Körper in irgend einem Punkte derselben dieselbe Endgeschwindigkeit, welche er durch den freien Fall durch die zu dem Punkte gehörige verticale Höhe erlangt haben würde.

B. In einem Kreisbogen.

Jeder um eine horizontale Axe schwingende Körper heißt ein **Pendel** und zwar ein **einfaches** oder **mathematisches**, wenn man statt des schwingenden Körpers sich nur einen materiellen Punkt und diesen durch eine gewichtslose Strecke mit dem Umdrehungspunkte in Verbindung gesetzt denkt (vergl. Art. **Pendel**). Die Bewegung des materiellen Punktes erfolgt in einem Kreisbogen und ist mithin bei dem Herabgehen nach dem tiefsten Punkte nichts weiter als ein Fallen in einem Kreisbogen.

Stellt AB in beistehender Figur die verticale Lage des Fadens AB vor und AC die Lage desselben, bei welcher die Bewegung beginnt, so wirkt auf den materiellen Punkt in C die bewegende Kraft $2g_1 = 2g \sin\alpha$, wenn $2g$ das Maß für die beschleunigende Kraft der Schwere ist und $\angle CAB = \alpha$. Dies ergiebt sich ohne weiteres, wenn man CF als Maß der Schwere annimmt und dasselbe zerlegt in die Richtung von AC und senkrecht auf dieselbe. Die Bewegung des materiellen Punktes ist folglich eine beschleunigte, da g und mithin auch g_1 stetig wirkt, aber eine **ungleichförmig beschleunigte**, weil $\angle\,\alpha$ bei größerer Annäherung des Punktes an B immer kleiner wird.



Denken wir uns den Punkt C bis H gekommen und setzen wir $\angle HAB = \beta$, die verticale Höhe des Punktes C über B, also $BE = a$, die des Punktes H, also $BK = x$; so ist die in dem Punkte H erlangte Endgeschwindigkeit nach II. A. dieses Artikels

$$v_1 = \sqrt{4g\,(a - x)},$$

oder, wenn wir $AB = l$ setzen, weil dann $a = l\,(1 - \cos\alpha)$ und $x = l\,(1 - \cos\beta)$ wird,

$$v_1 = \sqrt{4gl\,(\cos\beta - \cos\alpha)}$$

oder, weil $\cos\beta - \cos\alpha = 2 \sin {}^1/_2\,(\alpha + \beta) \sin {}^1/_2\,(\alpha - \beta)$ ist,

$$v_1 = \sqrt{8gl \sin {}^1/_2 (\alpha + \beta) \sin {}^1/_2 (\alpha - \beta)}.$$

Nehmen wir an, daß $\angle \alpha$ und mithin noch mehr $\angle \beta$ so klein sind, daß statt der Sinus die Bogen ohne merklichen Fehler genommen werden können, so wird

$$v_1 = \sqrt{8gl\,{}^1/_2(\alpha+\beta)\,.\,{}^1/_2(\alpha-\beta)} = \sqrt{2gl(\alpha^2-\beta^2)} =$$
$$= \alpha \left[1 - \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2\right]^{1/2} \sqrt{2gl.}$$

Ist nun CB in eine große Anzahl gleicher Theile getheilt, bezeichnet CH einem dieser kleinen Theile, deren n sein mögen, und hat der Punkt, um von C nach H zu kommen, die Zeit t_1 gebraucht, so wird der Bogen BC sich ausdrücken lassen durch $l\alpha$ und durch $n v_1 t_1$; folglich ist

$$t_1 = \frac{l\alpha}{n\,.\,v_1}$$

oder, wenn wir für v_1 den gefundenen Werth einsetzen,

$$t_1 = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2\right]^{1/2}} \cdot \sqrt{\frac{l}{2g}}.$$

Setzen wir nun $\beta = \frac{1}{n}\alpha, \frac{2}{n}\alpha, \frac{3}{n}\alpha \ldots.$, so erhalten wir für die Schwingungszeit von C bis B, die ganze Schwingungszeit von C bis D $= t$ gesetzt,

$$^1/_2 t = \sqrt{\frac{l}{2g}} \left\{ \frac{\frac{1}{n}}{\sqrt{1-\left(\frac{1}{n}\right)^2}} + \frac{\frac{1}{n}}{\sqrt{1-\left(\frac{2}{n}\right)^2}} + \frac{\frac{1}{n}}{\sqrt{1-\left(\frac{3}{n}\right)^2}} + \ldots.. \right\}$$

Der mit $\sqrt{\frac{l}{2g}}$ verbundene Factor stellt nichts anderes vor, als die Länge des Bogens von einem Viertelkreise, dessen Radius $= 1$ ist, ist also $= {}^1/_2\,\pi$; denn zieht man zu einem Punkte eines von seinen Radien begrenzten Quadranten den Radius und fällt von demselben Punkte noch ein Perpendikel auf einen Grenzradius, so erhält man, wenn man die Entfernung dieses Perpendikels von dem Mittelpunkte $= \frac{m}{n} r$ setzt, das Perpendikel $= \sqrt{r^2 - \left(\frac{m}{n} r\right)^2}$, also für $r = 1$,

$$= \sqrt{1 - \left(\frac{m}{n}\right)^2}$$

und hiernach erhält man für ein Bogenelement y die Proportion:

$$y : \frac{1}{n} = 1 : \sqrt{1 - \left(\frac{m}{n}\right)^2}, \text{ also}$$

das Bogenelement selbst

$$y = \frac{\frac{1}{n}}{\sqrt{1 - \left(\frac{m}{n}\right)^2}}.$$

Es ist also $\frac{1}{2}\, t = \frac{1}{2}\, \pi \sqrt{\frac{l}{2\,g}}$

oder die ganze Schwingungszeit $t = \pi \sqrt{\frac{l}{2\,g}}$.

Dieser Werth ist brauchbar für α bis zu 5 Grad; ist der Schwingungswinkel größer, so muß man

$$\frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2\right]^{1/2}} = \left[1 - \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2\right]^{-1/2}$$

in eine Reihe verwandeln und gelangt schließlich zu dem Werthe

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{2\,g}} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{u}{2\,l} + \left(\frac{1\,.\,3}{2\,.\,4}\right)^2 \left(\frac{u}{2\,l}\right)^2 + \ldots\right],$$

wo $u = 1 - \cos \alpha$ ist *).

In wie weit dieser genaue Werth von dem für kleine Bogen gefundenen abweichende Resultate giebt, ersehen wir aus folgender Zusammenstellung der nach der genauen Formel berechneten Schwingungszeiten, die der anderen Formel $= 1$ gesetzt.

α	t	α	t
1°	1,000019	5	1,000476
2°	1,000076	10	1,001907
3°	1,000171	15	1,00430
4°	1,000305	20	1,00767

Da in der Formel $t = \pi \sqrt{\frac{l}{2\,g}}$ gar nicht mehr α vorkommt, so ist mithin die Schwingungszeit bei kleinen Ausschlagswinkeln von diesem Winkel unabhängig; es haben also gleich lange Pendel selbst bei verschiedenen Ausschlagswinkeln gleiche Schwingungszeiten, d. h. sie schwingen isochron (v. dem griech. ἴσος, gleich und χρόνος, Zeit).

Wegen anderer Verhältnisse, welche bei dem Falle in einem Kreisbogen vorkommen, verweisen wir auf den Artikel Pendel.

C. In der Cycloide.

Verfolgt man den Weg, welchen z. B. der Nagel in der Peripherie eines Wagenrades macht, während dies auf einer Ebene in gerader Linie fortgerollt wird, so findet man eine krumme Linie, welcher man den Namen Cycloide gegeben hat. Wegen der Eigenthümlichkeiten, welche sich beim Falle eines materiellen Punktes in einer solchen Linie ergeben haben, berühren wir dies hier noch kurz.

---

*) Die Ausführung findet sich in elementarer Weise in: Weisbach, Ingenieur- und Maschinenmechanik. Erste Ausg. 1845. Bd. I. S. 291. §. 246, auch in: Kaiser, Handbuch der Mechanik. 1842. §. 182.

Der beim Falle in einem kleinen Kreisbogen sich ergebende Isochronismus regte die Frage an, ob es wohl eine Curve gebe, für welche nicht blos für kleine Bogen, sondern in ihrer ganzen Erstreckung, also für alle Bogen diese Eigenschaft Geltung habe. Huygens *) bewies, daß die Cycloide dieser Forderung entspreche, und deshalb nennt man sie auch isochronische oder tautochronische (v. d. griech. τὸ αὐτό, ebendasselbe und χρόνος) Curve. Es läßt sich indessen noch mehr von derselben nachweisen, nämlich, daß sie auch die brachystochronische (v. d. griech. βραχύς, kurz) Curve oder die Linie des schnellsten Falles ist, so daß auf keiner anderen Curve ein Körper schneller von einem höher gelegenen Punkte zu einem tiefer liegenden gelangen kann **). H. E.

Fallmaschine. Um die Richtigkeit der Fallgesetze zu prüfen, hat man, wie im Art. Fall der Körper näher angegeben ist, Versuche von größeren Höhen herab angestellt. Diese bieten jedoch — wegen der großen und immer mehr wachsenden Geschwindigkeit des fallenden Körpers selbst nach wenigen Secunden — nicht die gewünschte Genauigkeit. Galilei (vergl. Art. Fall der Körper) bediente sich daher schon der schiefen Ebene, weil hier die Bewegung langsamer erfolgt, und mithin eine größere Genauigkeit in der Beobachtung erzielt werden konnte. Die schiefe Ebene muß jedoch, soll sie auch nur für wenige Secunden ausreichend sein, immer noch eine beträchtliche Länge besitzen, eignet sich daher wenig zu Beobachtungen und Versuchen in den beschränkten Räumen eines Zimmers. Dies veranlaßte Atwood zur Construction einer eigenen Vorrichtung, der sogenannten Fallmaschine.

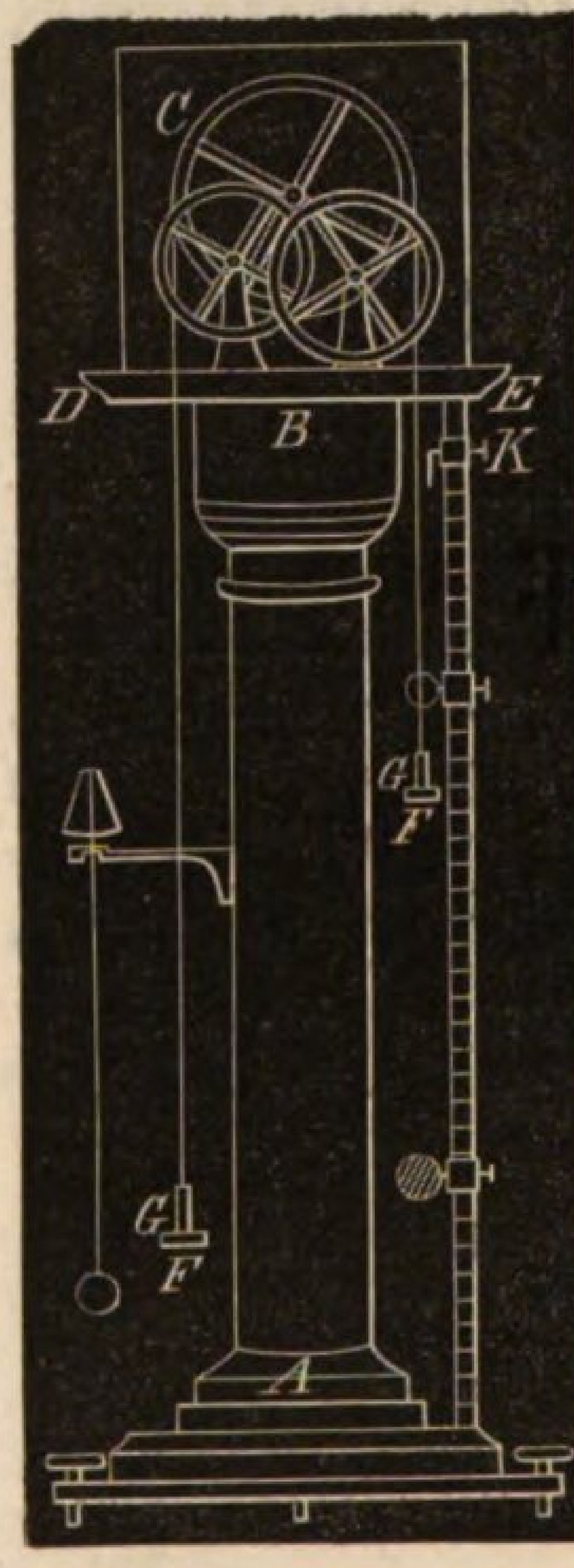
In ihrer einfachsten Gestalt besteht dieselbe aus einer Rolle, über die eine mit Gegengewichten belastete seidene Schnur geht; sobald das eine dieser Gewichte ein kleines Uebergewicht erhält, fällt dasselbe herab, aber langsamer, als wenn das kleine zugelegte Gewicht für sich allein, ohne auf dem Gegengewichte zu liegen, fiele, denn es hat im gegenwärtigen Falle noch beide (ohne dies Uebergewicht ruhende) Gegengewichte mit in Bewegung zu setzen.

Auf der Mitte eines mit drei Schrauben oder einem Fuße und zwei Schrauben versehenen Fußbrettes steht senkrecht eine hölzerne, wenigstens 6 Fuß lange Säule AB (siehe umstehende Figur), auf welcher, einige Zolle unterhalb des höchsten Punktes anfangend, eine Theilung von Zollen mit Unterabtheilungen angebracht ist. Diese Theilung wird, um die Tiefen des Falles anzugeben, von oben abwärts gezählt und geht bis zu dem Fußbrette herab. Auf dem oberen Ende der Säule bei B ist eine über die Säule etwas hervorspringende Platte DE befestigt und auf dieser an der einen Seite, von der Scala aus gerechnet, das messingene Gestell mittelst zweier Schrauben befestigt, welches das Rad C tragen soll. Dieses Rad ist an seiner Peripherie zur Aufnahme der die Gewichte tragenden seidenen Schnur rinnenförmig ausgehöhlt, sehr genau centrirt und überhaupt möglichst accurat gearbeitet, da von seiner vollkommen gleichen und leichten Bewe-

*) Horologium oscillatorium. Paris. 1673.

**) Vergl. Gregory, theoretische, praktische und beschreibende Darstellung der mechanischen Wissenschaften; übersetzt von Dietlein. Halle 1828. §. 276. — Euler. Mechan. 174. — Ein elementarer Beweis für den Tautochronismus der Cycloide findet sich in: Weisbach, Ingenieur- und Maschinen-Mechanik. 2. Aufl. 1850. Bd. I. S. 366. §. 266.

gung alles abhängt. Die stählerne Axe des Rades liegt auf Frictionsrollen (vergl. Art. Reibung) oder in zwei Schrauben von Stahl, an deren Spitze eine kegelförmige Vertiefung sich befindet, deren Spitze aber einen stumpferen Winkel bildet, als die kegelförmige Spitze der Axe. Die beiden Schrauben werden so weit hineingedreht, daß die Spitzen der Axe im Grunde der Höhlungen liegen, ohne jedoch an die Schrauben angedrückt zu werden.



Das Rad steht so, daß, wenn die seidene Schnur, welche die Gewichte trägt, über dasselbe gelegt wird, das eine Ende derselben vor der Scala herabhängt, das andere seitwärts von der Platte D E sich befindet. An den Enden des Fadens hängen kreisförmige Metallscheiben F, von deren Mitte ein metallenes Stäbchen G von etwa 3 Zoll Länge ausgeht. Diese Gewichtsträger müssen selbst von genau gleichem Gewichte sein. Die Gewichte richtet man so ein, daß sie aus kreisförmigen Scheiben bestehen, deren Durchmesser dem der Scheiben F gleich oder kleiner ist; sie sind mit einem Einschnitte versehen, so daß sie von der Seite auf die Stäbchen G geschoben werden können und dann auf den Scheiben F ruhen. Diese Gewichte müssen zu mehreren Paaren vorhanden sein, aber so, daß sie entweder alle oder je zwei von genau gleichem Gewichte sind. Außer diesen Gewichten gehören noch dazu mehrere leichtere metallene Gewichte, welche als Uebergewichte dienen, und entweder ebenso wie die anderen gestaltet oder noch besser mit längeren Vorsprüngen versehen sind, damit sie während des Falles an einer bestimmten Stelle von einem Ringe fest gehalten werden können. An der Scala befinden sich zwei Schieber, der eine in Form eines Ringes, von solcher Größe, daß der Gewichtsträger F hindurchgehen kann, der andere ist scheibenförmig, um denselben Gewichtsträger an einer bestimmten Stelle anzuhalten. Um die Bewegung der Gewichte, unter denen das vor der Scala herabsinkende das Uebergewicht haben muß, zu hemmen und in einem bestimmten Augenblicke beginnen zu lassen, dient ein horizontal beweglicher mit Tuch bekleideter Hebel K, welcher die Schnur an die Platte D E andrückt nnd den man durch einen Schlag plötzlich fortbewegt in dem Augenblicke, da die Bewegung des fallenden Gewichtes anfangen soll. Statt dieses Hebels bedient man sich auch wohl einer besonderen Auslösung, welche an dem oberen Ende der Scala befestigt wird, und aus einer Scheibe, auf welcher das fallende Gewicht ruht, besteht, die beim Beginne des Falles durch eine niedergedrückte Feder ihren Halt verliert und niederklappt. Endlich befindet sich seitwärts an der Säule ein Pendel, welches jede Schwingung durch einen hörbaren Schlag andeutet; am zweckmäßigsten ist ein Secundenpendel.

Um Versuche mit dieser Fallmaschine anstellen zu können, muß dieselbe zunächst in eine verticale Stellung gebracht werden. Dies erreicht man durch die Schrauben in dem Fußgestelle und erkennt die richtige Stellung daran, daß der

Faden, an welchem das fallende Gewicht hängt, parallel mit der Scala läuft, oder, wenn der ringförmige Schieber befestigt ist, gerade durch den Mittelpunkt des Ringes geht. Am zweckmäßigsten experimentirt man nun so, daß man bei einem Pendelschlage den Fall beginnen läßt und den möglichst tief angebrachten scheibenförmigen Schieber so stellt, daß das Gewicht mit einem Pendelschlage aufschlägt. Dies erreicht man nach wenigen Versuchen. Gesetzt das Gewicht schlägt nach 8 Pendelschlägen bei 64 Z. auf, so ergiebt sich daraus der Weg während des ersten Pendelschlags = 1 Zoll, da $g = \frac{S}{T^2}$ (vergl. Art. Fall der Körper, freier); oder nach 6 Pendelschlägen bei 72 Zoll, so ergiebt sich für den Weg in dem ersten Pendelschlage 2 Zoll. (Bei dem Zählen der Pendelschläge muß man mit Null anfangen). Hat man so den Weg während des ersten Pendelschlages gefunden, so stelle man den scheibenförmigen Schieber an die Stellen, an welchen der Rechnung zu Folge nach den einzelnen Pendelschlägen das fallende Gewicht angelangt sein muß, und der Versuch wird das Resultat der Rechnung und somit die Fallgesetze oder die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung bestätigen.

Will man die Endgeschwindigkeiten prüfen, welche das fallende Gewicht am Ende der einzelnen Pendelschläge erlangt hat, so stellt man den ringförmigen Schieber so, daß das Uebergewicht genau bei einem Pendelschlage auf dem Ringe liegen bleibt und beobachtet, an welcher Stelle bei dem zunächst folgenden Pendelschlage das nun blos durch die erhaltene Geschwindigkeit in Folge des Beharrungsvermögens weiter fallende Gewicht sich befindet. Ist z. B. der Fallraum in dem ersten Pendelschlage = 1 Zoll und wird das Uebergewicht bei dem fünften Pendelschlage von dem Ringe erfaßt, also wenn das Gewicht bei 25″ angelangt ist (der Ring steht dann noch über 25″), so wird bei dem sechsten Pendelschlage das Gewicht bei 35″ aufschlagen, d. h. die Endgeschwindigkeit betrug 10 Zoll.

Es läßt sich indessen bei einer sehr sorgfältig gearbeiteten Fallmaschine von vornherein für gegebene Gewichte und für ein bekanntes Uebergewicht der Fallraum während des ersten Pendelschlags oder der ersten Secunde berechnen.

Nennen wir das als Uebergewicht aufzulegende kleine Gewicht p, jedes der beiden anderen sich das Gleichgewicht haltenden Gewichte P; so ist die ganze in Bewegung zu setzende Masse = 2 P + p. Nehmen wir ferner an, es sei $p = \frac{1}{m} P$, so ist $mp = P$, $2\,mp = 2\,P$, $(2\,m + 1)\,p = 2\,P + p$, also $p = \frac{2\,P + p}{2\,m + 1}$. Wenn p allein frei fällt, so fällt es (vergl. Fall der Körper, freier) in der ersten Secunde durch 15,09 Par. Fuß oder ziemlich genau 181 Zoll; hier aber, wo es ein 2 m + 1 mal so großes Gewicht durch die Kraft der Schwere in Bewegung zu setzen hat, wird es in einer Secunde nur $\frac{1}{2\,m + 1}$ der Fallhöhe beim freien Falle zurücklegen können, und $\frac{181}{2\,m + 1}$ ist also der an der Fallmaschine in der ersten Secunde wirklich durchlaufene Raum, wenn $p = \frac{1}{m} P$ ist.

Will man nun, daß dieser Raum z. B. = 1 Zoll sein soll, so hat man $\frac{181}{2m + 1} = 1$, d. h. m = 90 und man muß folglich p = $\frac{1}{90}$ P machen. Gesetzt jedes der beiden Gewicht P sei = 4500 Gran, so müßte man also, damit beim Versuche in der ersten Secunde eine Höhe von 1 Zoll durch das fallende Gewicht zurückgelegt würde, ein Uebergewicht p von $\frac{1}{90}$ 4500 = 50 Gran auf die fallende Gewichtsscheibe legen.

Daß man ein genaues Secundenpendel haben müsse, wenn man diesen letzteren Weg der Rechnung einschlagen will, versteht sich von selbst; da dies aber nicht immer zu Gebote steht, so ist der vorher angegebene experimentelle Weg vorzuziehen. Hierzu kommt noch, daß von einer absoluten Genauigkeit und Uebereinstimmnng mit der Theorie überhaupt nicht die Rede sein kann, sondern daß immer eine, wenn auch für unsere Sinne wenig merkliche Verzögerung des fallenden Körpers stattfinden muß. Denn nicht allein wirkt der Widerstand der Luft hemmend, sondern auch die allemal stattfindende Reibung der Schnur an der Peripherie des Rades und des Rades mit seiner Axe in den Lagern.

Bemerken wollen wir noch, daß bei dem experimentellen Wege man sich auch helfen kann durch das Verschieben der Pendellinse, um so durch Verkürzen oder Verlängern der Schwingungszeit derselben das Aufschlagen des fallenden Gewichts an einer bestimmten Stelle genau mit einem Pendelschlage zusammentreffend zu machen.

Wenn man unter der Voraussetzung, daß der Weg, welchen ein Körper beim freien Falle in der ersten Secunde durchfällt, bekannt ist, dieselbe Größe für die Fallmaschine berechnen kann; so ist an sich klar, daß man umgekehrt die Fallmaschine benutzen kann, um die noch unbekannte Größe des Fallraumes der ersten Secunde beim freien Falle zu ermitteln. Ein genaues Secundenpendel und eine vorzüglich gearbeitete Fallmaschine (in Betreff des Rades) sind hierbei allerdings Bedingungen.

Haben P und p dieselbe Bedeutung wie vorher und ist g der Weg der ersten Secunde beim freien Falle, γ dasselbe bei der Fallmaschine, so muß (2 P + p) 2 γ = p . 2 g sein, da das Uebergewicht p dieselbe Größe der Bewegung erhält, es mag frei fallen oder in seinem Falle durch andere Massen verzögert werden; folglich ist

$$g = \frac{(2P + p)\gamma}{p}.$$

Sind alle Größen bekannt, nur nicht γ, so erhält man:

$$\gamma = \frac{pg}{2P + p};$$

ist das Uebergewicht zu bestimmen, wenn alles andere bekannt ist, so hat man allgemein:

$$p = \frac{2P\gamma}{g - \gamma}.$$

Fallschirm (franz. Parachute, engl. Fall-breakes) ist eine leichte schirmartige Vorrichtung, welche dazu dient, einen aus größerer Höhe herabfallenden

Gegenstand vor Beschädigung durch heftiges Auffallen auf den Boden zu schützen, indem durch diese Form die Fläche des fallenden Körpers bedeutend vergrößert wird, ohne daß das Gewicht desselben dadurch eine merkliche Vermehrung erleidet. Besonders wichtig ist der Fallschirm geworden seit Erfindung des Luftballons (im Jahre 1783), indem er den Luftschiffe n ein unentbehrliches Sicherungsmittel ist. Die Form des in diesem Falle gebräuchlichen Schirmes ist die eines flachen Kegels, welchem die Grundfläche fehlt; die Spitze ist nach obengekehrt, und im unteren Rande der Seitenfläche sind Stricke befestigt, welche in einiger Entfernung unter dem Schirme zusammengehen und, dort in der verlängerten Axe des Kegels vereint, die Person oder den Gegenstand tragen, welcher an dem Schirme fallen soll. Geht nun der Schirm mit seiner Last nieder, so ist der Fall anfangs sehr schnell; doch entfaltet sich derselbe bald ganz von selbst durch den Widerstand der Luft und sinkt eben wegen dieses Widerstandes immer langsamer, so daß er endlich mit einer gewissen gleichförmigen Geschwindigkeit weiter geht.

Der erste, welcher wissenschaftliche Versuche mit einem Fallschirme gemacht hat, war La Normand, Professor zu Montpellier. Im Jahre 1783 ließ sich derselbe von der ersten Etage eines Hauses mittelst eines Fallschirmes herab, der aus nichts anderem bestand, als aus einem Regenschirme, der 30 Zoll Durchmesser hatte und an dessen Stabenden er Schnüre angebracht hatte, welche er in der Hand hielt, damit der Schirm durch den Widerstand der Luft nicht ausschlagen konnte. Aus größeren Höhen ließ er mit einem Fallschirme von 28 Zoll Thiere herabfallen, welche unbeschädigt den Erdboden erreichten. Die oben angegebene Gestalt eines offenen Kegels hielt La Normand für die geeigneteste des Fallschirmes und berechnete um einen Menschen tragen zu können den Durchmesser desselben zu 14 Fuß. Die Luftschiffer Montgolfier und Blanchard haben die Versuche noch weiter ausgedehnt, der erstere indem er von dem höchsten Thurme zu Avignon mehrmals einen Hammel herabfallen ließ, ohne daß dieser Schaden nahm, und der letztere indem er sich selbst endlich zu Basel von einem Luftballon aus an einem Fallschirme aus einer beträchtlichen Höhe herabließ. Blanchard fiel bei seinem Fallversuche unglücklicher Weise auf Bäume und brach ein Bein. Garnerin hat sich öfter glücklich an einem Fallschirme herabgelassen, zuerst 1799 zu Paris, ebenso — bereits zum 5. Male — 1802 zu London, ebenso mehrmals seine Frau und später, 1818 zu Bordeaux, auch seine Tochter. Garnerin's Fallschirm hatte ausgespannt 25 bis 30 Fuß Durchmesser. Ein großer Fallkünstler war Robertson, dessen Schirm nicht mehr als 9 Pfund wog. Er versichert, daß sein Sohn, Eugen Robertson, zu Lissabon am 12. December 1819 aus einer Höhe von 2500 Toisen am Fallschirme herabgegangen sei und während des Niederganges beständig auf dem Waldhorne geblasen habe, um einen Beweis seiner Furchtlosigkeit zu geben *).

Ebenso wie bei Anwendung des Korkwamses oder Schwimmgürtels dafür gesorgt werden muß, daß der Schwerpunkt des Schwimmers möglichst tief liegt, so ist es auch bei Anwendung des Fallschirmes. Denkt man sich den Fallschirm als Kegel, oder als Halbkugel, oder als Kugelabschnitt, so muß, wenn der Fall vollkommen vertical geschehen soll, der Schwerpunkt, und also der fallende

*) Zachariä, Geschichte der Luftschwimmkunst. Leipzig 1828. S. 19. Anm.

Gegenstand, in der verlängerten, vertical abwärts gerichten Kegel- oder Kugelaxe liegen. Nur so trägt der Schirm den fallenden Körper in jeder Hinsicht zu gleichen Theilen, die Basis des Schirmes liegt dann völlig horizontal, und der Schirm geht vollkommen vertical nieder. Liegt aber der Schwerpunkt nicht in der Axe des Schirmes — und dies wird wegen Dehnung des Gewebes und der die Last tragenden Stricke gewöhnlich der Fall sein; — so wird die Last an dem Schirme nicht gleichmäßig vertheilt sein, die Basis des Schirmes nicht horizontal liegen, und der Fall daher kein verticaler sein können. Die nächste Folge hiervon wird eine pendelartige Schwankung sein, und dies Schwanken muß um so schneller erfolgen, je näher die Last dem Schirme hängt. Diese Schwankungen vermindert man dadurch, daß man an dem oberen Theile des Fallschirmes eine Öffnung anbringt, durch welche die Luft hindurch strömen kann.

Darüber daß die Bewegung beim Fallen mit einem Fallschirme endlich eine gleichförmige werden müsse, während sie anfangs beschleunigt ist, hier nur Folgendes:

Im Allgemeinen gelten für den Stoß und Widerstand der bewegten oder ruhenden Luft dieselben Gesetze, wie für tropfbare Flüssigkeiten, indessen darf hierbei nicht unbeachtet bleiben, daß die Luft wegen ihrer großen Elasticität sich beim Stoße verdichtet und deshalb mit derselben Kraft wieder zurück wirkt [vergl. Art. Bewegung (Stoß elastischer Körper) Bd. I. S. 840]. Setzt man die Kraft beim Stoße des Wassers dem Gewichte einer Wassersäule gleich, welche die gestoßene Fläche zur Grundfläche und die zur Geschwindigkeit gehörige Fallhöhe zur Höhe hat, so müßte man die Kraft des Stoßes der Luft gleich setzen dem doppelten Gewichte einer Luftsäule von gleicher Dichtigkeit mit der anstoßenden, deren Grundfläche gleich der gestoßenen Fläche und deren Höhe gleich der zur Geschwindigkeit gehörigen Fallhöhe ist. Nun wächst der Widerstand der Luft wenigstens im Verhältniß mit dem Quadrate der Geschwindigkeit, selbst abgesehen davon, daß sie in den unteren Schichten dichter wird; die Schwerkraft aber kann (vergl. Art. Fall, freier) in vorliegendem Falle als unveränderlich angenommen werden: folglich wird ein von einer bedeutenden Höhe herabfallender Körper, weil der Widerstand nur dann hinreichend wächst, endlich eine solche Geschwindigkeit erlangen müssen, daß der Widerstand der Luft dem Gewichte des fallenden Körpers gleich wird. Von diesem Augenblicke an hört die Beschleunigung auf und die Bewegung wird gleichförmig. Je größer die Oberfläche des Fallschirmes ist, desto größer ist der Widerstand beim Fallen; je kleiner das Gewicht des Fallschirmes ist, desto eher wird der Widerstand der Luft dem Gewichte des fallenden Körpers gleich kommen.

Wie groß wird z. B. die Geschwindigkeit v sein, bei welcher der Fall gleichförmig wird, wenn ein Fallschirm 20 preuß. Fuß Durchmesser hat und das Gewicht des Menschen sammt dem Schirm 150 Pfund beträgt? Der Weg in der ersten Secunde beim freien Falle sei = 15,625 preuß. Fuß; das Gewicht von 1 Cubikfuß atmosph. Luft bei 28″ Barometerstand = $^1/_{11}$ Pfund.

Die Widerstand leistende Fläche ist $^1/_4\,\pi\,.\,20^2$ Quadratfuß; die Fallhöhe $h = \frac{v^2}{4\,g}$; folglich ist

$$150 = \frac{2\,.\,20^2\,.\,0{,}785\,.\,v^2}{4\,.\,15{,}625\,.\,11}, \text{ also}$$

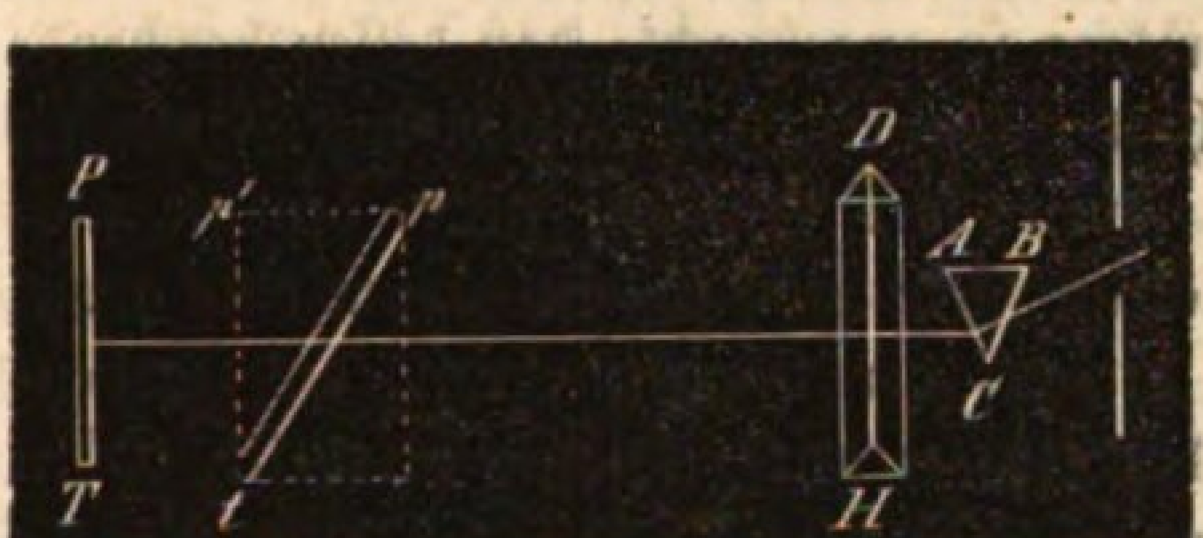
v nahe = 13 Fuß, eine Geschwindigkeit, zu welcher im leeren Raume noch nicht einmal eine Fallhöhe von 3 Fuß gehören würde. Nimmt man an, daß man, insbesondere auf nicht sehr harten Grund, aus einer Höhe von 4 Fuß herabspringen könne, ohne sich Schaden zuzufügen, so ergiebt sich, daß man unter den gemachten Annahmen mit vollkommen ausreichender Langsamkeit unten ankommen wird, wenn man nur hoch genug herabspringt, damit die Verzögerung der Geschwindigkeit bis zum Gleichförmigwerden der Bewegung sich hat steigern können.

Daß bei den Leuchtkugelraketen der Fallschirm Anwendung findet, sei schließlich noch bemerkt; ebenso daß wir an den Nüßchen vieler syngenesistischen Pflanzen eine Fallschirmbildung finden, durch welche dieselben bei bewegter Luft in große Fernen fortgetragen werden; es sei nur erinnert an Taraxacum, und außerdem wegen des besonders schönen, sogenannten Pappus an Tragopogon, Scorzonera und Podospermum.

Falsettöne, s. Stimme.

Farbe. Das weiße Sonnenlicht besteht aus Strahlen von verschiedener Brechbarkeit, welche durch ungleiche Brechung von einander gesondert, unserem Auge in verschiedenen Farben erscheinen. Zu den im Artikel Brechbarkeit (Bd. I. S. 866) angeführten Versuchen über die ungleiche Brechbarkeit der das Sonnenlicht zusammensetzenden Farbestrahlen fügen wir hier noch folgenden von Newton herrührenden Versuch hinzu.

Wenn man die aus dem horizontalen Prisma ABC hervorgehenden Strahlen, welche in der Richtung über DH hinaus ein Farbenbild (Spectrum) darstellen würden, in DH auf einem zweiten verticalen Prisma, dessen Axe mit der verlängerten Richtung des Farbenbildes parallel ist, auffängt, so erhält man statt des Farbenbildes PT, welches nach der verticalen Richtung verlängert war, ein nach geneigter Richtung verlängertes Farbenbild. Diese Stellung des Spectrums läßt sich leicht erklären.



Denn man weiß, daß alle von ABC nach PT zu gehenden Strahlen, indem sie auf das zweite Prisma auffallen, nach der Seite gebrochen werden müssen. Wären nun alle diese Strahlen in gleichem Grade brechbar, so würde etwa in p't ein dem vorigen Farbenbilde paralleles Farbenbild entstehen. Dies geschieht aber nicht, sondern die violetten Strahlen geben in p ein weiter von P entferntes Bild und sind also stärker gebrochen als die rothen Strahlen, welche in t ein weniger von T entferntes Bild geben. Die zwischenliegenden Strahlen zeigen eine mittlere Brechbarkeit.

Um ein möglichst reines Spectrum zu erhalten, muß die Oeffnung sehr klein und der Schirm, auf dem es sich darstellt, hinreichend weit von derselben entfernt sein. Dies sind jedoch nicht die alleinigen Bedingungen, welche hier erfüllt werden müssen. Die Lichtstrahlen, welche von verschiedenen Punkten eines leuchtenden Gegenstandes ausgehen, sind nicht alle unter einander parallel. Jeder Punkt sendet für sich ein Strahlenbüschel aus, das ein Farbenbild erzeugen kann, und das auf gewöhnliche Weise gebildete Spectrum ist zusammengesetzt aus unzählig vielen anderen, die eben von den einzelnen Strahlenbüscheln herrühren, so daß

dann in jedem Punkte des zusammengesetzten Spectrums Strahlen von verschiedener Brechbarkeit zusammenfallen. Um dies möglichst zu verhindern, leitet man das Sonnenlicht vermittelst eines Heliostates (s. d. Art.), der außerhalb des verfinsterten Zimmers am Laden angebracht ist, durch eine schmale Spalte auf ein Prisma, das mit seiner brechenden Kante der Spalte parallel und in einer solchen Entfernung aufgestellt ist, daß die Spalte als eine leuchtende Linie angesehen werden kann, die nur Strahlen von geringer Divergenz auf das Prisma sendet. Auch kann man das Licht zweckmäßig durch zwei hinter einander befindliche enge Spaltöffnungen gehen lassen. Außerdem muß die Glasmasse, aus der das Prisma besteht, durchweg von homogener Beschaffenheit sein, damit das hindurchgehende Licht möglichst regelmäßig gebrochen werde. Statt eines Prisma aus reinem Flintglas läßt sich auch ein Hohlprisma zur Erzeugung des Spectrums benutzen, wenn dasselbe aus möglichst ebenen Glasplatten zusammengefügt ist, und mit einem das Licht stark zerstreuenden Oele angefüllt wird.

Ueber die Anzahl der ungleich brechbaren Strahlen im Sonnenlichte kann im Allgemeinen nicht entschieden werden. Wenn das Sonnenlicht innerhalb gewisser Grenzen Strahlen von allen möglichen Graden der Brechbarkeit enthielte, so müßte sich auch das Spectrum als aus stetig auf einander folgenden farbigen Lichtlinien zusammengesetzt darstellen. Die von Fraunhofer entdeckten dunklen Linien im Spectrum des Sonnenlichtes deuten aber an, daß in dem letzteren Strahlen von einem gewissen Grade der Brechbarkeit fehlen. Um diese Linien wahrzunehmen, lasse man das Sonnenlicht durch eine schmale, aber etwas hohe verticale Spalte in ein dunkles Zimmer eindringen, in welchem ein achromatisches Fernrohr so aufgestellt ist, daß man durch dasselbe die Spalte deutlich sehen kann. Vor dem Objectiv des Fernrohres wird nun ein Prisma so angebracht, daß dessen brechende Kante der Spalte parallel ist, und die hindurchgehenden Strahlen das Minimum der Ablenkung erleiden, was stattfindet, wenn der Winkel, unter dem sie austreten, gleich dem Einfallswinkel ist. Alsdann sieht man im Spectrum eine große Menge dunkler oder schwarzer Streifen, die auf der Längenrichtung des Farbenbildes senkrecht stehen *). Sie sind über das letztere unregelmäßig vertheilt, haben aber sonst eine feste Stellung gegen einander. Fraunhofer hat zum Behufe leichterer Orientirung einige leicht bemerkbare Streifen ausgewählt, und von dem rothen gegen das violette Ende des Spectrums hin mit den Buchstaben A, B, C, D, E, F, G und H bezeichnet. A, B, C sind scharf begrenzte Linien im Roth. Zwischen A und B bemerkt man noch bei a ein Bündel feiner Linien. D ist eine Doppellinie im Orange, E eine Gruppe feiner Linien im Uebergange von Gelb in Grün, F eine starke Linie im Grün, dem blauen Ende sehr nahe, G eine Gruppe feiner Linien; H ist ein aus vielen Linien zusammengesetzter, mit einer starken Mittellinie versehener Streifen, in dessen Nähe sich ein zweiter ähnlicher befindet. Zwischen diesen ausgewählten Streifen und Linien liegt noch ein Menge anderer feiner, scharfer Linien. Fraunhofer zählte von B bis H etwa 574 Linien; ihre Anzahl nimmt aber zu mit der Vergrößerung des Fernrohres, so daß

---

*) Wenn man hinter dem Prisma eine achromatische Linse mit großer Brennweite, anbringt, so kann man die dunklen Linien auch auf einem Schirme objectiv darstellen. Vergl. Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 93 u. Bd. LXX. S. 115.

Brewster *) das Sonnenspectrum in mehr als 2000 unterscheidbare Theile zerlegen konnte, in denen dunkle Linien zu erkennen waren. Die schwächeren verschwinden, wenn das Farbenbild an Größe abnimmt. Die Lage der Streifen ist

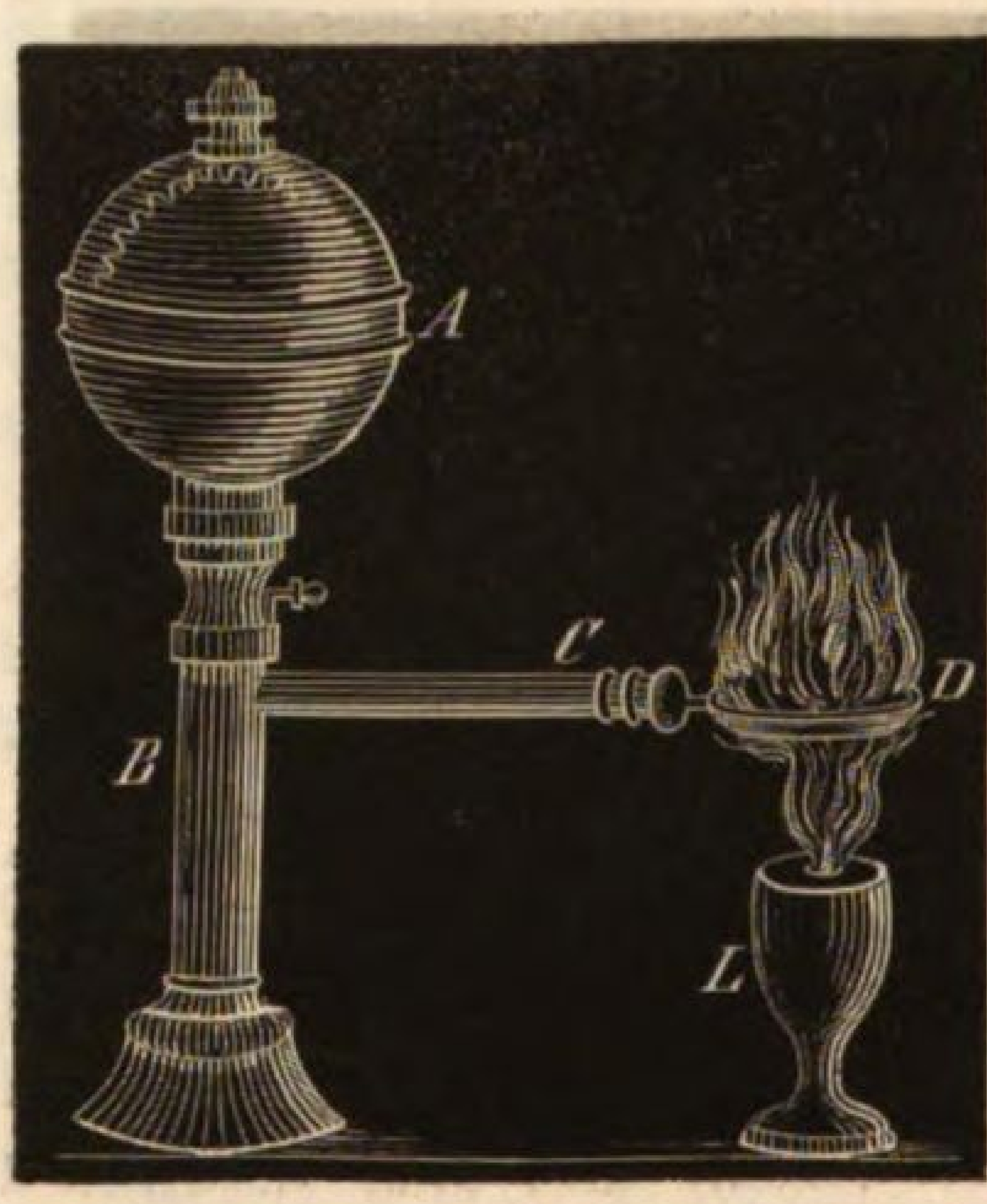


unabhängig sowohl von dem brechenden Winkel als auch von der Materie des Prismas, nicht aber von der Beschaffenheit der Lichtquelle. Die Spectra vom Lichte der Venus und des Mars enthalten dieselben fixen Linien, wie das Sonnenlicht und fast genau an demselben Orte; die Fixsterne geben ein Spectrum zwar auch mit fixen Linien, die Stellen derselben kommen aber nicht allenthalben mit denen des Sonnenspectrums überein. Das Licht des Sirius zeigt namentlich drei sehr auffallende dunkle Streifen, den einen im Grün und zwei im Blau. Im Spectrum des gewöhnlichen Flammenlichtes sieht man zwischen Roth und Gelb einen hellen Streifen, und einen anderen ähnlichen, aber weniger scharf begrenzten im Grün. Im Farbenbilde des elektrischen Lichtes finden finden sich mehrere, zum Theil sehr helle Linien, unter denen eine im Grün gegen den übrigen Theil des Bildes fast glänzend hell ist. Eine andere nicht ganz so helle ist im Orange. Nach Wheatstone **) sind diese Linien verschieden nach der Natur des Metalls, aus dem die Funken gezogen werden, so daß sich dasselbe aus der Beschaffenheit des Spectrums erkennen läßt. Das elektrische Licht ist aber sehr verschieden von dem des verbrennenden Metalls und also nicht von einer durch die Elektricität veranlaßten Verbrennung der Metalltheilchen herzuleiten.

Obschon die meisten Lichtquellen ein verschiedenfarbiges Spectrum gewähren, so giebt es doch auch solche, welche fast nur homogenes Licht verbreiten, wie dies z. B., bei der Flamme von sehr verdünntem Weingeist der Fall ist, namentlich wenn der Docht der Lampe mit Kochsalz eingerieben ist. Die ausgesendeten Strahlen sind dann homogen gelb. Noch reiner gelb und dabei stärker ist dasjenige gelbe Licht, welches man in Befolgung eines von Brewster angegebenen Verfahrens erhält. A B ist eine Lampe (siehe umstehende Figur), welche in A eine hinreichende Menge Brennspiritus enthält, der allmälig in eine Schale aus Platin oder sonst einem Metalle, D, ausfließt. Diese Schale wird, vermittelst einer Weingeistlampe L, welche in ein dunkles Behältniß eingeschlossen ist, erhitzt. Wird der in die Schale D fließende Spiritus entzündet, so brennt er mit einer lebhaft gelben Flamme. Im Falle die Flamme nicht vollkommen gelb wäre, was von einem Uebermaße

*) Edinb. Transact. V. XII. p. 525; Poggend. Ann. Bd. XXXVIII. S. 58.
**) Poggend. Ann. Bd. XXXVI. S. 148.

von Alkohol herrühren kann, so wird ein Zusatz von Kochsalz zu der Flüssigkeit in der Schale eben so gut, wie eine fernere Verdünnung des Alkohols mit Wasser der Absicht entsprechen. Auch der Schwefel, wenn er im lebhaften Verbrennen begriffen ist, verbreitet größtentheils homogenes gelbes Licht, während sich bei einer minder raschen Verbrennung blaue und grüne Streifen im Spectrum zeigen. Eine bemerkenswerthe rothe Linie erscheint im Farbenbilde der Schwefelflamme, wenn derselbe mit Salpeter gemischt verbrannt wird. Diese Linie ist durch einen dunklen Zwischenraum von dem eigentlichen rothen Theile des Spectrums getrennt, und ihr Licht ist weniger brechbar als die rothen Strahlen des Sonnenspectrums. Man schreibt dieselbe der Anwesenheit des Kali zu und hält sie überhaupt für eine Eigenthümlichkeit der Kalisalze. Das Farbenbild des salpetersauren Natrons, welches sich mit mehreren ungleichen Unterbrechungen darstellt, ist ausgezeichnet durch eine isolirte hellglänzende, dunkelblaue Linie.



Das Spectrum des Sonnenlichts ist veränderlich mit dem Stande der Sonne und mit dem Zustande der Atmosphäre. Wenn die Sonne niedriger steht, ist die Anzahl der dunklen Linien im Allgemeinen größer als sonst, und beim Auf- und Untergange der Sonne verschwinden fast alle violetten und blauen Strahlen, während die dunklen Linien in größerer Zahl auftreten. Diese Linien entstehen also wahrscheinlich durch eine Einwirkung der Atmosphäre, in sofern Strahlen von einem gewissen Grade der Brechbarkeit in derselben ausgelöscht oder von ihr absorbirt werden, was sich dann im Spectrum durch Lücken zu erkennen giebt. Hierauf weisen auch einige Wahrnehmungen hin, welche zuerst von Brewster *) und dann auch von Miller gemacht wurden, daß nämlich Licht, welches durch gewisse farbige Gase gegangen ist, ein von unzähligen dunklen Linien durchschnittenes Spectrum zeigt. Läßt man Licht durch ein Gefäß mit parallelen Glaswänden gehen, in welchem durch allmälige Erwärmung von Jod sich Dämpfe des letzteren bilden, so sieht man im Spectrum des hindurchgegangenen Lichtes, und zwar zunächst in dem blauen Theile blasse, schwarze Streifen in ziemlich gleichem Abstande von einander. So wie die Dichte des Joddampfes zunimmt, treten auch in den übrigen Theilen des Spectrums dunkle Streifen auf, und man sieht sie dann im Roth dichter als im Violet neben einander stehen. Brom- und unterchlorsaures Gas bieten ähnliche Linien dar. Uebergießt man Kupfer mit Salpetersäure, so entwickeln sich rothe Dämpfe von Untersalpetersäure, und bei diesen entdeckte Brewster in dem hindurchgegangenen Lichte eine große Menge von dunklen Streifen, die jedoch in ungleichen Abständen auf einander folgten. Zwischen dem

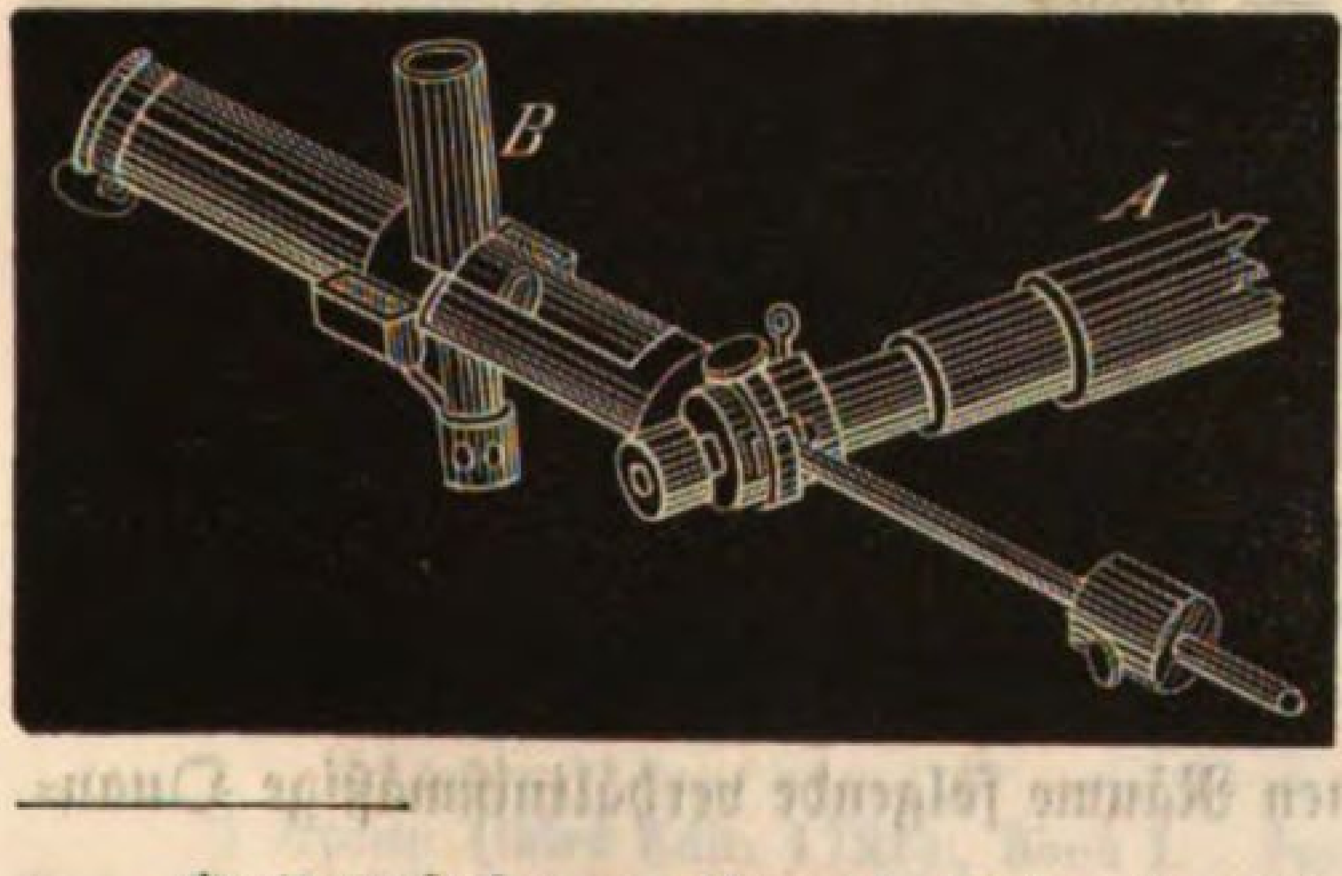
---

*) Edinb. Transact. Vol. XII. p. 505. Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 386. Bd. XXXII. S. 128. Bd. XXXIII. S. 233. Bd. XXXVII. S. 315. Bd. XXXVIII. S. 52.

Spektrum des Kerzenlichtes, nachdem dieses durch salpetrigsaure Dämpfe gegangen ist, und dem gewöhnlichen Sonnenspectrum fand Brewster viel Uebereinstimmung, da beide Spectra die dunklen Linien in ähnlicher Anordnung zeigten. Die Anzahl dieser dunklen Linien nimmt mit der Länge des Weges, den die Strahlen in dem gasförmigen Medium zurückzulegen haben, zu, so wie auch mit der Intensität der Farbe. Auf die Erklärung dieses Phänomens hat Wrede die Undulationstheorie angewendet und gezeigt, wie Lichtwellen von einer bestimmten Länge (die eben Strahlen von einem gewissen Grade der Brechbarkeit darstellen) durch Reflexion an den Massentheilchen des Mediums zur Interferenz (s. d. Artikel und Licht) gelangen können, so daß dadurch eine Schwächung oder unter Umständen auch eine Verstärkung der betreffenden Farbe hervorgebracht werden kann.

Die einzelnen Farben des prismatischen Sonnenbildes unterscheiden sich sowohl durch die Größe des Raumes, den sie einnehmen, als auch durch ihre Lichtstärke. Ueber die Ausdehnung der einzelnen Farben im Sonnenbilde giebt Newton die Bestimmung, daß wenn man das ganze Bild in 360 Theile, nach Analogie der Kreiseintheilung, zerlege, Violett 80, Indigo 40, Blau 60, Grün 60, Gelb 48, Orange 27, Roth 45 solcher Theile einnehme. Herschel *) hat Beobachtungen über die größere oder geringere Lichtstärke der einzelnen Farben des Spectrums angestellt. Bei diesen Beobachtungen betrachtete er verschiedene Gegenstände durch ein Mikroskop, während dieselben bald mit der einen, bald mit der anderen prismatischen Farbe erleuchtet waren. Herschel fand, daß die Gegenstände am stärksten durch das gelbe Licht erleuchtet wurden, besonders wenn man sie in die Gegend des Farbenbildes bringt, wo das vollkommene Gelb in Grün überzugehen anfängt. Wenn man sich von dieser Gegend nach der einen oder anderen Seite hin entfernte, so ward die Erleuchtung schwächer, im Orange schwächer als in Gelb, im Roth schwächer als im Orange, und ebenso im Grün nicht ganz so stark als in dem angegebenen Uebergange von Gelb in Grün; im blauen Lichte ward die Erleuchtung immer schwächer, je mehr man sich von der Mitte des Farbenbildes entfernte, im Violett aber schwächer als in irgend einem der übrigen Farbestrahlen. Noch genauere Beobachtungen über die Lichtstärke der verschiedenen Farben hat Fraunhofer angestellt, die übrigens im Wesentlichen mit denen von Herschel übereinstimmen.

Fraunhofer befestigte in einem Fernrohre A an der Stelle, wo das von dem Objectiv erzeugte Bild hin fällt, einen kleinen unter 45° gegen die Axe des Rohres geneigten metallenen Planspiegel, dessen verticaler Rand scharf begrenzt ist, und das Gesichtsfeld durchschneidet. Diesen Rand sieht man durch das Ocular sehr scharf. Seitwärts am Ocularrohre ist ein durchschnittenes Rohr so angebracht, daß es auf dem Rande des Spiegels und der Axe des Fernrohres senkrecht steht,



*) Untersuchungen über die Natur der Sonnenstrahlen, übersetzt von Harding. Celle 1801. S. 13.

und im Einschnitte ein anderes engeres Rohr B aufnimmt, welches sich in diesem Ausschnitte in verticaler Richtung verschieben läßt. In dem Theile des engen Rohres nun, welcher der Axe des weiteren entspricht, befindet sich eine kleine Flamme, die von einem communicirenden Oelgefäße genährt wird, und durch eine kleine runde Oeffnung Licht auf den Spiegel sendet. Daher sieht man in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes im Fernrohre den von der Flamme beleuchteten Spiegel und in der anderen Hälfte desselben eine von den Farben des prismatischen Sonnenbildes. So läßt sich die Erleuchtung, welche die verschiedenen Farben des Spectrums gewähren, vergleichen mit der Erleuchtung, die das zugleich gesehene Licht der Flamme giebt, und auch beobachten, bei welchem Abstande der Flamme vom Spiegel beide Erleuchtungen einander gleich kommen. Die gleiche Intensität der letzteren ist insbesondere daran zu erkennen, daß die sonst scharf sichtbare Grenze des Spiegels dann mit der geringsten Deutlichkeit hervortritt, wenn die Intensität des Farbestrahles mit dem Lichte, das der Spiegel zurückwirft, gleich ist. Da nun die Erleuchtungen durch die Flamme den Quadraten ihrer Entfernung vom Spiegel umgekehrt proportional sind, so läßt sich aus den verschiedenen Entfernungen, in welche die Flamme bei den verschiedenen Farben gestellt werden muß, um mit ihnen gleiche Erleuchtung zu geben, die erleuchtende Kraft dieser Farben schätzen. Diese Versuche wurden noch in der Weise variirt, daß das Licht der Lampe durch ein mattgeschliffenes Glas auf den Spiegel fiel, während man durch die andere Hälfte des Fernrohres eine von den betreffenden Farbestrahlen beleuchtete weiße Fläche betrachtete.

Fraunhofer fand nun, daß der hellste Ort des Farbenbildes etwa um $^1/_4$ oder $^1/_3$ der ganzen Länge desselben vom rothen Endpunkte entfernt liegt. Die Figur auf Seite 25 giebt eine graphische Darstellung der Intensitäten des Lichtes an den verschiedenen Stellen des Farbenbildes, indem diese nämlich durch die Höhen (Ordinaten) der Curve, welche über der Figur verzeichnet ist, an jeder einzelnen Stelle vorgestellt werden. Ungefähr bei A ist das rothe, bei J das violette Ende des Farbenbildes, jedoch ohne scharfe Grenze.

Folgende Zahlen geben nach Fraunhofer's Messungen die Verhältnisse der Intensitäten an, das Maximum = 1,00 gesetzt.

bei B = 0,032
bei C = 0,094
bei D = 0,64

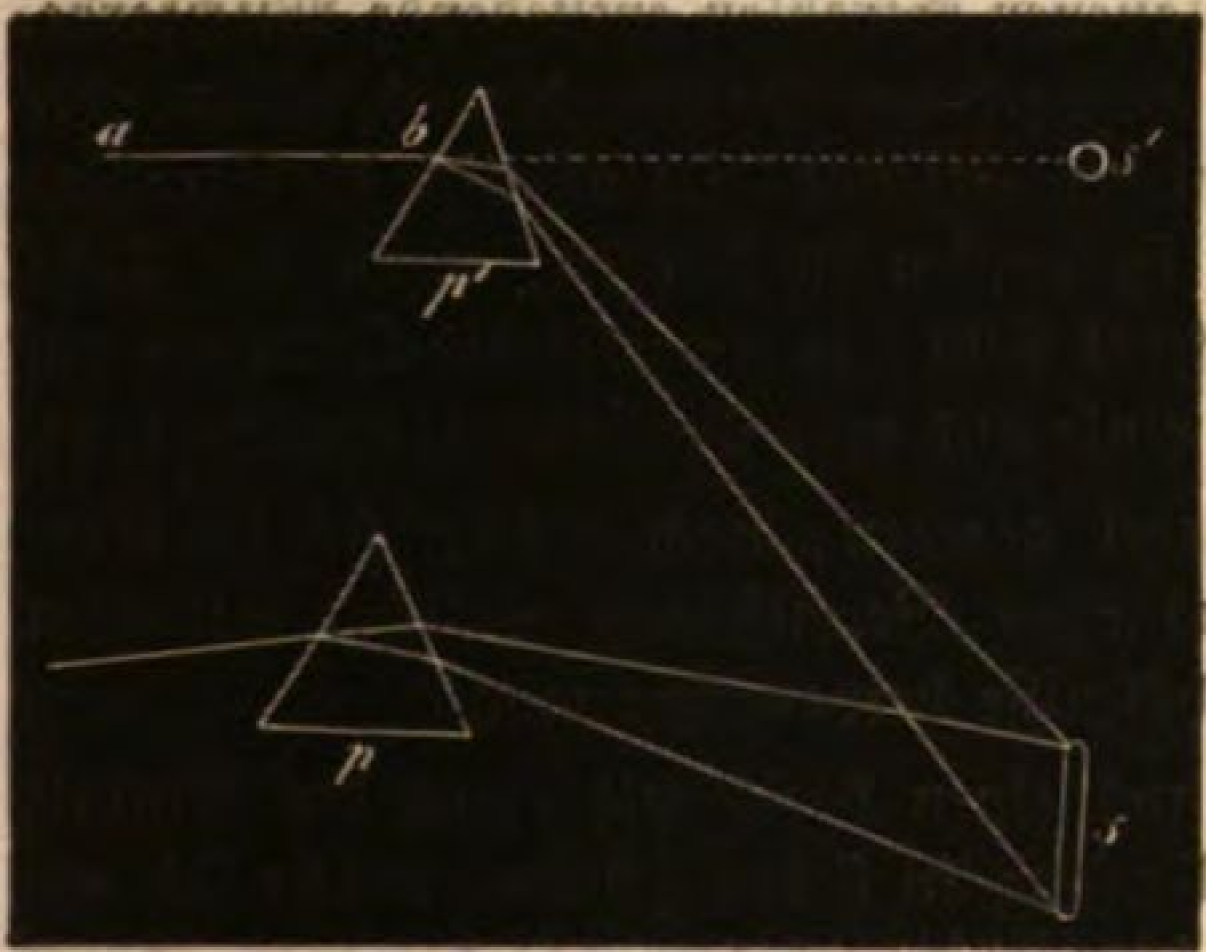
Maximum = 1,00
bei E = 0,48
bei F = 0,17
bei G = 0,031
bei H = 0,006

Hiernach ist das gesammte Licht in den einzelnen Theilen des Farbenbildes etwa so vertheilt, daß auf die einzelnen Räume folgende verhältnißmäßige Quantitäten Licht kommen.

Das im Raume DE vorhandene Licht = 1 gesetzt	oder	die ganze Summe des Lichts im Farbenspectrum = 1 gesetzt.
BC = 0,021		= 0,0113
CD = 0,299		= 0,1599
DE = 1,000		= 0,5354
EF = 0,328		= 0,1757
FG = 0,185		= 0,0990
GH = 0,035		= 0,0187

Ueber die chemischen Wirkungen der verschiedenen prismatischen Farbestrahlen, und über die Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum vergleiche die Artikel Licht und Wärme.

Das durch das Prisma in verschiedenfarbige Strahlen zerlegte Sonnenlicht läßt sich aus denselben auch wieder zusammensetzen. Man lasse die durch das Prisma hervorgebrachten Farbestrahlen auf ein hinreichend großes convexes Linsenglas fallen, so vereiniget dieses alle auffallenden Strahlen vor sich in einem Punkte. Bringt man nun ein Blatt weißen Papieres nahe vor das Glas, so erscheinen auf demselben erst noch die verschiedenen Farben, entfernt man es aber allmälig, so zeigt sich endlich im Punkte der Vereinigung aller auf die Linse fallenden Strahlen ein helles weißes Sonnenbild. Entfernt man das Blatt noch weiter über diesen Punkt hinaus, so gehen die Strahlen wieder auseinander und auf dem Blatte erscheinen wieder die verschiedenen Farben. Newton *) stellte noch folgenden einfachen Versuch an, um die Zusammensetzung des weißen Lichtes aus den verschiedenen prismatischen Farben darzuthun. Ein Prisma p, auf welches ein Sonnenstrahl fällt, bringt auf einer weißen Wand ein Farbenbild s hervor. Stellt man nun ein zweites Prisma p′ so auf, daß ein Sonnenstrahl ab, wenn er auf dasselbe fallen könnte, ein Spectrum an derselben Stelle wie das erste hervorbrächte, so werden auch die von den verschiedenen Stellen des Farbenbildes ausgehenden und auf das Prisma p′ fallenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch das letztere sich zu dem Strahle ab vereinigen, so daß das Auge (bei a) in der Richtung as′ ein rundes weißes Bild des Spectrums wahrnimmt. Einen ähnlichen noch einfacheren Versuch beschreibt Göthe **). Wenn nämlich ein horizontal gestelltes Prisma, welches ein Spectrum auf einer weißen Wand darstellt, lang genug ist, so daß der Beobachter zugleich hindurchsehen kann, so sieht man das durch die Brechung im Prisma heraufgerückte Bild wieder heruntergerückt, und zwar als farblosen oder weißen Kreis an der Stelle, wo das Sonnenbild ohne Brechung



*) Optice (third Edit. 1721), Book I., Part. II., Prop. V. Exper. 11. Poggend. Ann. Bd. LVIII. S. 358 und 518.

**) Zur Farbenlehre. Bd. I. S. 155. §. 351—354.

erschienen wäre. Einen complicirteren Versuch in gleicher Absicht stellte Münchow an, indem er einem Prisma vermittelst eines Uhrwerkes eine rasch oscillirende Bewegung ertheilte, wodurch dann auch das von einem Schirm aufgefangene Spectrum rasch hin und her bewegt wird und die Eindrücke aller einzelnen Farben im Auge sich dergestalt mischen, daß man statt des Farbenspectrums einen Streifen sieht, der bis auf die Enden vollkommen weiß ist. Auch dann erhält man das Weiß vollständig wieder, wenn man zwei Prismen so an einander legt, daß ihre brechenden Winkel nach entgegengesetzten Seiten gekehrt sind. Beide wirken nun wie ein einziges Glas mit parallelen Grenzebenen.

Wie sich alle Farben des Sonnenbildes durch eine sie aufsammelnde Linse wiederum in einen weißen leuchtenden Punkt vereinigen lassen, so kann man auch je zwei oder mehrere besondere Farben des Spectrums wieder zusammenbringen, und erhält dann eine neue Farbe, welche der vorgenommenen Mischung entspricht. Um solche Mischfarben zu erhalten, läßt man gewöhnlich nach Newton durch eine kleine Oeffnung ein dünnes Bündel Sonnenlicht in ein dunkles Zimmer fallen, stellt ihm unfern der Oeffnung ein Prisma horizontal entgegen und fängt das farbige Spectrum mittelst einer kleinen Tafel auf, in welcher über einander verschiedene Schieber angebracht sind, vermittelst deren man durch die Tafel gehende Spalten in verschiedener Höhe beliebig öffnen und schließen kann. Oeffnet man nun z. B. zwei Spalten, da wo zwei bestimmte Farben des Spectrums auf der Tafel erscheinen, so gehen diese und keine anderen Farben durch die Tafel hindurch. Die durchgelassenen Farbestrahlen fängt man mittelst einer Linse auf, welche um ihre doppelte Brennweite vom Prisma entfernt ist; dann erscheint auf einer weißen Tafel, welche in derselben Entfernung von der Linse aufgestellt ist, in welcher diese vom Prisma absteht, die aus den durchgelassenen Strahlen entstehende Mischfarbe. Rückt man aber die weiße Tafel aus dem angegebenen Punkte heraus näher oder ferner der Linse, so erscheinen die Farben wieder getrennt. Da nämlich die Strahlen im Vereinigungspunkte sich durchkreuzen, so müssen die Farben, wenn die Tafel weiter als dieser Punkt von der Linse entfernt steht, in umgekehrter Ordnung auf ihr erscheinen, als wenn sie zwischen der Linse und dem Vereinigungspunkte steht.

Newton*) hat eine empirische Regel gegeben, nach welcher sich im Voraus die Farbe ermitteln läßt, welche aus einer Vermischung einfacher Strahlen von gegebener Art und in gegebenem Verhältnisse hervorgehen muß.

Man beschreibe vom Mittelpunkte C aus einen Kreis mit einem der Einheit gleichgesetzten Halbmesser, theile seinen Umfang in sieben Theile, welche sich wie die Zahlen $^1/_9$, $^1/_{16}$, $^1/_{10}$, $^1/_9$, $^1/_{10}$, $^1/_{16}$, $^1/_9$ verhalten, so daß man, durch Zurückführung dieser Theile auf Grade hat:

RO	=	60°	45′	34″
OG	=	34	10	38
GGr	=	54	41	1
GrB	=	60	45	34
Bi	=	54	41	1
LV	=	34	10	38
VB	=	60	45	34

*) Optice lib. I. Pars. 2. prop. 5.

Man betrachte nur diese verschiedenen Bogen nach der Reihe, in der sie auf einander folgen, als die sieben Hauptfarben, welche das Spectrum des weißen Lichtes darstellen, so daß der volle Umkreis die ganze Reihe von Farbenabstufungen, durch welche das Licht von den ersten rothen bis zu den letzten violetten Strahlen hindurchgeht, vorstellt. Darauf bestimme man die Schwerpunkte r, o, g, gr, b, i, v, aller dieser Bogen, und denke sich an jedem derselben ein der Länge des ihm entsprechenden Bogens proportionales Gewicht angebracht. Der gemeinschaftliche Schwerpunkt aller Gewichte fällt dann mit dem Mittelpunkte C zusammen, und dies entspricht dem Falle, wo das Auge vollkommenes Weiß wahrnimmt, dessen Empfindung ihm durch den gleichzeitigen Eindruck aller Farbenabstufungen, bei einer Mischung nach Verhältnissen, wie sie von Natur im Spectrum vorkommen, erweckt wird. Findet aber die Mischung nicht nach diesen Verhältnissen statt, wie in fast allen Farbenmischungen, welche kein Weiß geben, so wird man sich auf jeden partiellen Schwerpunkt nicht mehr das Totalgewicht des entsprechenden Bogens gelegt zu denken haben, sondern die Hälfte, das Drittel oder überhaupt den nten Theil dieses Gewichts, je nachdem die gegebene Mischung die Hälfte, das Drittel rc. von all' dem Licht enthält, welches diese Farbe im Spectrum ausmacht. Sucht man jetzt den gemeinschaftlichen Schwerpunkt aller dieser partiellen Gewichte, so wird er in der Regel nicht mehr mit dem Mittelpunkte des ganzen Kreises zusammenfallen. Wohin er aber auch fallen mag, z. B. nach S, immer wird man nur von dem Mittelpunkte zu diesem Punkte die Linie CS zu ziehen haben. Die Richtung dieser Linie wird dann die herrschende Farbe der Mischung und ihre Länge oder die Entfernung des Punktes S von der Mitte die Intensität der Farbe ausdrücken. Fällt z. B. CS genau zwischen CGr und CG, so wird die Farbe das reinste Gelb sein; nähert sich dagegen CS mehr CG oder CGr, so wird sich dies Gelb mehr ins Orange oder Grün ziehen. Fällt bei der ersten Voraussetzung der Punkt S nahe an den Umkreis, so wird die Farbe im höchsten Grade stark und lebhaft sein; fällt er aber in die Mitte zwischen den Umkreis und Centrum, so wird die Farbe nur halb so stark sein, gleich einer Mischung des lebhaften Gelb mit ebenso viel Weiß.



Bei der Länge, die Newton's Regel den Bogen zuertheilt, welche die sieben Hauptfarben des Spectrums darstellen, giebt es nicht zwei, deren Schwerpunkte einander diametral entgegengesetzt liegen. In welchem Verhältnisse daher auch zwei dieser Farben gemischt werden mögen, nie wird ihr gemeinschaftlicher Schwerpunkt in den Mittelpunkt des Umkreises selbst fallen, wonach sie nie Weiß werden geben können, sondern höchstens eine dem Weiß sich nähernde blasse Farbe. Doch erhält man nach Grotthuß *) eine vom Weiß nicht unterscheidbare Farbe, wenn man zwei Farbenbilder so auf einander bringt, daß Gelb und Violett, Orange und Blau, Roth und Seladongrün zusammenfallen. Um dies zu erreichen, soll man zwei Farbenbilder so hervorbringen, daß bei beiden Violett den oberen Theil ausmacht. Trifft dann das Violett des etwas niedriger liegenden Bildes mit dem

*) Schweigg. Journ. Bd. III. S. 158.

Gelb des höheren zusammen, so fällt zugleich sehr nahe das Gelb auf Orange, das Grün auf Roth, und bringt so ein in der Mitte weißes, an einem Ende in Blau und Violett, am anderen Ende in Orange und Roth übergehendes Bild hervor.

Newton nahm die von ihm hervorgehobenen sieben Spectralfarben als Grundfarben an, in sofern sie wohl durch ein zweites Prisma abermals abgelenkt oder gebrochen, nicht aber in einfachere Farben zerlegt werden könnten. Lange vorher, ehe die Zerlegung des weißen Lichtes durch Newton bekannt war, betrachtete man fast allgemein Roth, Gelb und Blau als Grundfarben, aus deren Mischung die übrigen Farben hervorgehen sollten. Dabei stützte man sich vorzugsweise auf Versuche, die mit verschiedenen Farbestoffen vorgenommen wurden, wo man dann im Allgemeinen aus Roth und Blau Violett, aus Gelb und Blau Grün, und aus Gelb und Roth Orange erhielt. Später behauptete Mayer auch die Zusammensetzung des Sonnenlichtes aus diesen drei Farben, eine Ansicht, die in neuerer Zeit an Brewster *) einen lebhaften Vertheidiger gefunden hat. Nach ihm besteht das Sonnenspectrum, mag es nun durch Prismen aus durchsichtigen Körpern oder durch Ritze in metallischen und durchsichtigen Oberflächen gebildet worden sein, aus drei gleich langen Spectris, einem rothen, einem gelben und einem blauen, welche an denselben Punkten anfangen und endigen. Alle Farben des Spectrums sind dem zufolge zusammengesetzt aus Roth, Gelb und Blau in verschiedenen Verhältnissen. Auch ist eine gewisse Menge weißen Lichtes, die unzersetzbar durch das Prisma ist, weil alle dazu gehörigen rothen, gelben und blauen Strahlen gleiche Brechbarkeit haben, in jedem Punkte des Spectrums vorhanden, und kann an einigen derselben isolirt dargestellt werden. Das letztere geschah dadurch, daß er das gemischte Licht durch durchsichtige Körper von verschiedener Farbe gehen ließ, also durch Körper, welche Strahlen von gewissen Farben nicht hindurchlassen, wozu er theils farbige Gläser, theils getrockneten durchsichtigen Leim, theils Oele oder Lösungen gefärbter Stoffe verwandte. Auf diese Weise kam das weiße Licht von seiner farbigen Beimischung befreit zum Vorschein, indem durch Absorption der Ueberschuß einer jeden Farbe, die in größerer als zur Zusammensetzung des weißen Lichtes nöthigen Menge da ist, abgeschieden wurde. Jedes der drei einfarbigen über einander liegenden Spectra hat nach Brewster die Eigenschaft, daß die Intensität des Lichtes von dem einen Ende bis zu einem gewissen Punkte wächst, wo sie ihren höchsten Grad erreicht, und dann bis zu dem anderen Ende wieder abnimmt. Der Punkt der höchsten Intensität fällt bei diesen einzelnen Grundfarben auf verschiedene Stellen und die Zunahme vom Ende bis zu diesem Punkte ist nicht gleichförmig oder für jede Farbe gleichartig. Wenn nun die rothen, blauen und gelben Strahlen drei zusammenfallende Spectra von gleicher Länge geben, so muß jede von diesen Farben in allen Theilen des Spectrums vorhanden sein, und dies hat Brewster nachzuweisen versucht. So sagt derselbe z. B. in Bezug auf die rothen Strahlen: Aus dem bloßen Anblick des Spectrums ist ersichtlich, daß in den rothen, orangefarbenen und violetten Felde desselben rothes Licht vorhanden ist. Da nun diese drei Felder, nach Fraunhofer's Messungen, 190 Theile einnehmen, wenn das ganze Spectrum deren 360 mißt,

*) Edinb. Journ. of science. N. S. Vol. V. p. 197; Poggend. Ann. Bd. 23. S. 435.

so finden sich rothe Strahlen in mehr als der Hälfte des ganzen Spectrums. Untersucht man das blaue und indigfarbene Feld durch gewisse gelbe Flüssigkeiten, z. B. durch Olivenöl, so bekommen sie eine deutlich violette Farbe, woraus folgt, daß diese Flüssigkeiten gewisse Strahlen, die das Roth neutralisirten oder unsichtbar machten, verschluckt haben *). Rothes Licht ist also in dem blauen und indigfarbenen Felde vorhanden, und da weißes Licht, welches doch nothwendig Roth enthält, sowohl aus dem grünen, wie aus dem gelben Felde abgeschieden werden kann, so folgt, daß in allen sieben Farbenfeldern, in welche sich das Spectrum theilen läßt, rothes Licht anwesend ist. Ebenso wird durch Anwendung verschiedener absorbirender Mittel die Gegenwart der gelben und blauen Strahlen in allen Feldern des Spectrums nachgewiesen. Nur in Bezug auf das gelbe Licht macht Brewster die Bemerkung, daß er dasselbe im violetten Felde nicht habe entdecken können, was übrigens leicht erklärlich sei, wenn man bedenke, wie schwach die violetten Strahlen sind, und wie leicht sie durch Mittel von fast allen Farben absorbirt werden.

Die Richtigkeit dieser Ansicht Brewster's über die Zusammensetzung des Sonnenlichtes wurde in Zweifel gezogen von Airy **), Draper ***) und Melloni ****). Airy bemerkt, daß er durch Anwendung absorbirender Mittel solche Veränderungen, wie Brewster angiebt, in den verschiedenen Theilen des Farbenspectrums nicht habe wahrnehmen können, und Draper vermuthet, daß Brewster mit einem Prisma operirt habe, dessen brechende Fläche von beträchtlicher Größe gewesen sei, in welchem Falle ein nahe der Kante und ein nahe der Basis auffallender Strahl, nach ihrer Dispersion, verschiedene Spectra auf einem Schirme darstellen werden, so daß die Farben des einen nicht mit denen des anderen zusammenfallen können, sondern sie überdecken müssen. In einem solchen Spectrum wird also eine allgemeine Vermischung der Farben stattfinden. Diesem Einwurfe Draper's stimmt Melloni im Wesentlichen bei, indem auch er die Resultate aus Brewster's Versuchen größtentheils von einem Ineinandergreifen verschiedener Spectra herleitet. Brewster *****) weist jedoch alle die Einwendungen entschieden zurück, und sucht seine Ansicht noch durch einige Versuche und Beobachtungen von Wollaston, Young, William und John Herschel zu unterstützen. Und letzterer hat in der That aus seinen Untersuchungen †) über die Absorption des Lichtes durch farbige Mittel einen dem seinigen ähnlichen Schluß gezogen. Auf den Einwurf von Draper erwidert Brewster, daß seine Versuche nicht mit Spectris, gebildet auf Schirmen durch Prismen von großen brechenden Flächen, angestellt worden seien. Die von ihm angewendeten Spectra seien rein und frei von aller Beimischung gewesen, so daß sie die Linien Fraunhofer's deutlich hätten sehen lassen, und die Resultate wären dieselben geblieben, wenn die brechende Fläche des Prisma's auf die möglich kleinste Dimension zurückgeführt worden.

---

*) Roth und Blau geben nämlich zusammen Violett.

**) Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXX. p. 73. Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 393.

***) Phil. Mag. Vol. XXX. p. 345.

****) Phil. Mag. Vol. XXXII. p. 262. Poggend. Ann. Bd. LXXV. S. 62.

*****) Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXX. p. 153. Vol. XXXII. p. 489; Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 397. Bd. LXXV. S. 81.

†) Edinb. Phil. Transact. Vol. IX. p. 445—460.

Wollaston machte die Entdeckung, daß, wenn man durch ein Prisma nach einer schmalen Spalte (von 0,05 Zoll Durchmesser), durch welche Tageslicht einfällt, sieht, ein Spectrum entsteht, das nur vier Farben zeigt, nämlich: Roth, Gelbgrün, Blau und Violett. Dies ist, bemerkt Brewster, die Zusammensetzung des Spectrums vom Tageslicht oder vom Lichte des blauen Himmels. Dasselbe hat keinen gelben Raum, während im Sonnenspectrum ein deutlich gelber Raum von bedeutender Breite zwischen dem rothen und grünen Raume vorhanden ist. Die Frage, was aus dem gelben Raum des Sonnenspectrums geworden, beantwortet Brewster dahin, daß eine gewisse Portion von rothem Lichte durch Reflexion von dem Himmel oder den Wolken absorbirt, und dadurch das gelbe Licht auf grünes reducirt worden sei, was einleuchte, wenn man bedenke, was erwiesen ist, daß Roth und Grün zusammen Gelb machen. Dieser gelbe Raum im Sonnenspectrum, und gelbgrün gemachte im Spectrum des Tageslichts kann nun nach Brewster in seinem grünen Zustande durch verschiedene absorbirende Mittel wieder gelb gemacht werden, oder auch gelbweiß und weiß, woraus dann auch folge, daß in einem und demselben Theile des Spectrums rothe, gelbe und blaue Strahlen von genau gleicher Brechbarkeit vorhanden seien.

In neuester Zeit hat Helmholtz *) Untersuchungen angestellt über die Mischfarben, welche durch das Zusammenfallen verschiedener prismatischer Farben erzeugt werden. Derselbe ließ Sonnenlicht durch zwei schmale Spalten eindringen, die in einem schwarzen Schirme befindlich und unter einem Winkel von 90° gegen einander geneigt waren, während sie mit dem Horizont Winkel von 45° machten. Ganz nahe vor dem Objectivglas eines Fernrohres war ein gutes Flintglasprisma aufgestellt, so daß seine brechende Kante vertikal stand. Nun entstehen im Gesichtsfelde des Fernrohres zwei Spectra, die einander theilweise decken, dergestalt, daß jeder Farbenstreifen des einen Spectrum einen jeden des anderen unter einem rechten Winkel durchschneidet. Im Durchschnittspunkte erscheint dann die entsprechende Mischfarbe. Das Auge muß sich in einer angemessenen Entfernung vom Ocular des Fernrohres befinden, damit es jede homogen gefärbte Stelle unbeirrt durch den Eindruck der benachbarten wahrnehmen könne. Die Resultate dieser Versuche hat Helmholtz in nachstehender Tabelle zusammengestellt, wo die obere Horizontalreihe und die äußere Verticalreihe zur Linken die gewöhnlichen prismatischen Farben enthalten. Die aus je zweien von ihnen entstehende Mischfarbe findet sich in dem Durchschnittspunkte der entsprechenden Horizontal- und Verticalreihe, so daß z. B. aus Roth und Violett Purpur, aus Roth und Blau Rosa rc. hervorgeht.

	Violett	Blau	Grün	Gelb	Roth
Roth	Purpur	Rosa	Mattgelb	Orange	Roth
Gelb	Rosa	Weiß	Gelbgrün	Gelb	
Grün	Blaßblau	Blaugrün	Grün		
Blau	Indigblau	Blau			
Violett	Violett				

*) Poggend. Ann. Bd. LXXXVII. S. 45.

Was in dieser Tabelle zunächst auffällt, ist dies, daß von den gewöhnlichen Farben des Spectrums nur zwei, und zwar Gelb und Blau, zusammen reines Weiß hervorbringen, während doch aus der Mischung eines gelben Farbstoffes mit einem blauen Farbstoffe Grün resultirt *). Nach Helmholtz rührt das letztere daher, daß das farbige Licht hier nicht unmittelbar von der äußeren Oberfläche, sondern vielmehr von der inneren Oberfläche der einzelnen Farbstoffpartikeln reflectirt werde, indem das auffallende Licht zum Theil durch dieselben hindurchdringe. Wo nun ein gelber mit einem blauen Farbstoff gemischt ist, werden die Theilchen an der Oberfläche dem Auge Weiß darbieten, weil eben Blau und Gelb sich zu Weiß ergänzen. Dagegen wird das aus der zunächst tiefer gelegenen Schicht kommende Licht theils durch blaue, theils durch gelbe Farbetheilchen hindurchgehen. Da nun die Theilchen blauer Körper violettes, blaues und grünes, die Theilchen gelber Körper rothes, gelbes und grünes Licht hindurch lassen, so müssen die Theilchen beider Farbstoffe vorherrschend grünes Licht geben, das hiernach also nicht als zusammengesetzte Farbe erscheint. Dasselbe gilt vom Violett, in sofern nämlich, als es nicht aus der Mischung von blauen und rothen prismatischen Farbestrahlen hervorgehen kann. Auf Grund dieser Versuche existiren nach Helmholtz wenigstens fünf einfache oder sogenannte Grundfarben, und zwar Roth, Gelb, Grün, Blau, Violett.

Ein anderes Verfahren, welches Helmholtz anwandte, um aus prismatischen Farben Mischfarben darzustellen, besteht darin, daß man auf einer Glasplatte das Spiegelbild eines farbigen Fleckes da entstehen läßt, wo bereits ein Fleck von bestimmter Farbe hervorgebracht ist. Die auf diese Weise erzielten Mischfarben kamen ganz überein mit denen, welche durch die Mischung entsprechender Spectralfarben erzeugt wurden.

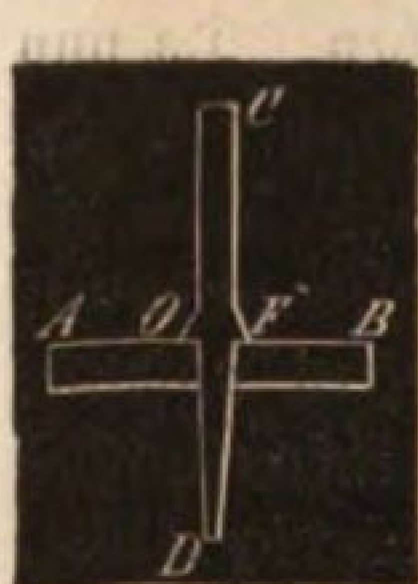
Durch Anwendung von drei und mehr Spalten im Schirme untersuchte Helmholtz auch in sonst ähnlicher Weise die Mischfarben, die aus dem Zusammenfallen von mehr als zwei prismatischen Farben hervorgehen, wo dann auch öfter die weiße Farbe zum Vorschein kam.

Die oben angegebene Newton'sche Eintheilung eines Kreises nach Analogie der Mischungsverhältnisse der verschiedenen Farben zu Weiß läßt sich zu einem Versuche benutzen, bei dem durch schnelle Folge der verschiedenen Farben auf einander das Auge gleichfalls den Eindruck der weißen Farbe erhält. Man theile nämlich einen Kreis, wie dort angegeben, im 7 Felder und trage auf diese einzeln möglichst schöne und reine Farbstoffe auf, so daß also etwa $60^3/_4$ Grad mit Roth, $34^1/_4$ Gr. mit Orange, $54^2/_3$ Gr. mit Gelb, $60^3/_4$ Gr. mit Grün, $54^2/_3$ Gr. mit lichtem Blau, $34^1/_4$ Gr. mit Indigblau und $60^2/_3$ Gr. mit Violett gefärbt erscheinen. Befestigt man nun diese kreisförmige Scheibe an einen durch ihren Mittelpunkt gehenden Stift und setzt sie mittelst letzteren in eine schnelle drehende Bewegung, so folgen die verschiedenen Farben so rasch auf einander, daß sie das Auge nicht mehr von einander zu unterscheiden vermag, sondern demselben als eine weißgraue Farbe **) erscheinen, welche sich dem reinen Weiß um so mehr nähert, je

*) So erhält das Auge auch den Eindruck der grünen Farbe, wenn es durch ein blaues und gelbes Glas hindurchsieht, von denen das eine auf das andere gelegt ist.

**) Ein vollkommenes Weiß kann hier um dessentwillen nicht entstehen, weil es eben nicht möglich ist, die einzelnen Spectralfarben durch Pigmente ganz rein darzustellen.

mehr die einzelnen Farben rein und hell sind. Auf ähnliche Weise kann man auch je zwei oder drei verschiedene Farben allein auf die Scheibe tragen und wird dann bei der Umdrehung der Scheibe die den Verhältnissen, nach denen sie aufgetragen sind, entsprechenden Mischfarben erblicken *). Die letzteren sind dann nach den Versuchen von Helmholtz, denen ganz ähnlich, welche durch die Mischung der entsprechenden prismatischen Farben erhalten werden, während man durch das Mischen verschiedener Farbstoffe in der Regel ganz andere Farbentöne erhält. Um über die in oben erwähnter Weise entstehenden Mischfarben Versuche anzustellen, bedient man sich des sogenannten Farbenkreisels. Eine runde Scheibe AB, aus hartem Holz gedreht, ist auf die gleichfalls aus hartem Holze (Buxbaum) verfertigte Spindel CD gesteckt, welche letztere bei OF einen unten flachen Wulst hat, um die mit den erforderlichen Pigmenten überzogenen Papierscheiben darunter zu befestigen. Die letzteren sind in der Mitte mit einem Loche zum Durchstecken der Spindel versehen, und entweder blos auf dem äußeren Ringe oder auf den ganzen Sectoren mit denjenigen Farben bemalt, womit man die Versuche anstellen will. Man kann die einzelnen Sectoren auf die erforderliche Weise mit den gehörigen Pigmenten überziehen, und deren so viele als zur Erzeugung der gewünschten zusammengesetzten Farbe nöthig sind, neben einander legen, durch den Wulst der Spindel auf die Scheibe festdrücken, und den Kreisel durch Drehung des Stieles in schnelle Rotation bringen. Lüdicke **), der hierüber viele Versuche angestellt, empfiehlt folgende Einrichtung der Farbenscheibe.



Man soll den Ring der Scheibe in 12 Theile, wie folgt theilen und mit nachstehenden Pigmenten überziehen: 1) Hellviolett oder Röthlichviolett, dem Dunkelrothen sich nähernd, nimmt 40,5 Grade des Kreises ein, und wird aus rothem Karmin mit ein wenig blauen Karmin gemischt. 2) Violett, 38 Grade; aus blauem Karmin mit etwas rothem. 3) Indigo, 36°; aus blauem Karmin mit sehr wenig rothem. 4) Blau, 34°; blauer Karmin. 5) Hellblau, 32°; aus blauem Karmin mit etwas Grün. 6) Bläulichgrün, 30°,3; krystallisirter Grünspan, in Essig aufgelöst, mit etwas Weinstein. 7) Gelblichgrün, 28°,6; vorige Auflösung mit etwas Gummigutt versetzt. 8) Strohgelb, 27°; Gummigutt sehr verdünnt mit ein wenig Grün. 9) Gelb, 25°,5; Gummigutt, stärker aufgetragen mit sehr wenig rothem Karmin. 10) Orange, 24°; Gummigutt mit etwas rothem Karmin. 11) Hochroth, 22°,7; rother Karmin mit etwas Gummigutt. 12) Dunkelroth, 21°,4; rother Karmin, nicht zu stark aufgetragen. Eine solche Scheibe giebt bei der Umdrehung weiß, während andere Farbenverbindungen natürlich andere Mischfarben geben. Die Eintheilung Lüdicke's gründet sich übrigens, gleich der von Newton, auf die Analogie der Farben mit den Tönen, indem er nämlich die Breiten der Farben den Seitenlängen der Töne proportional genommen

---

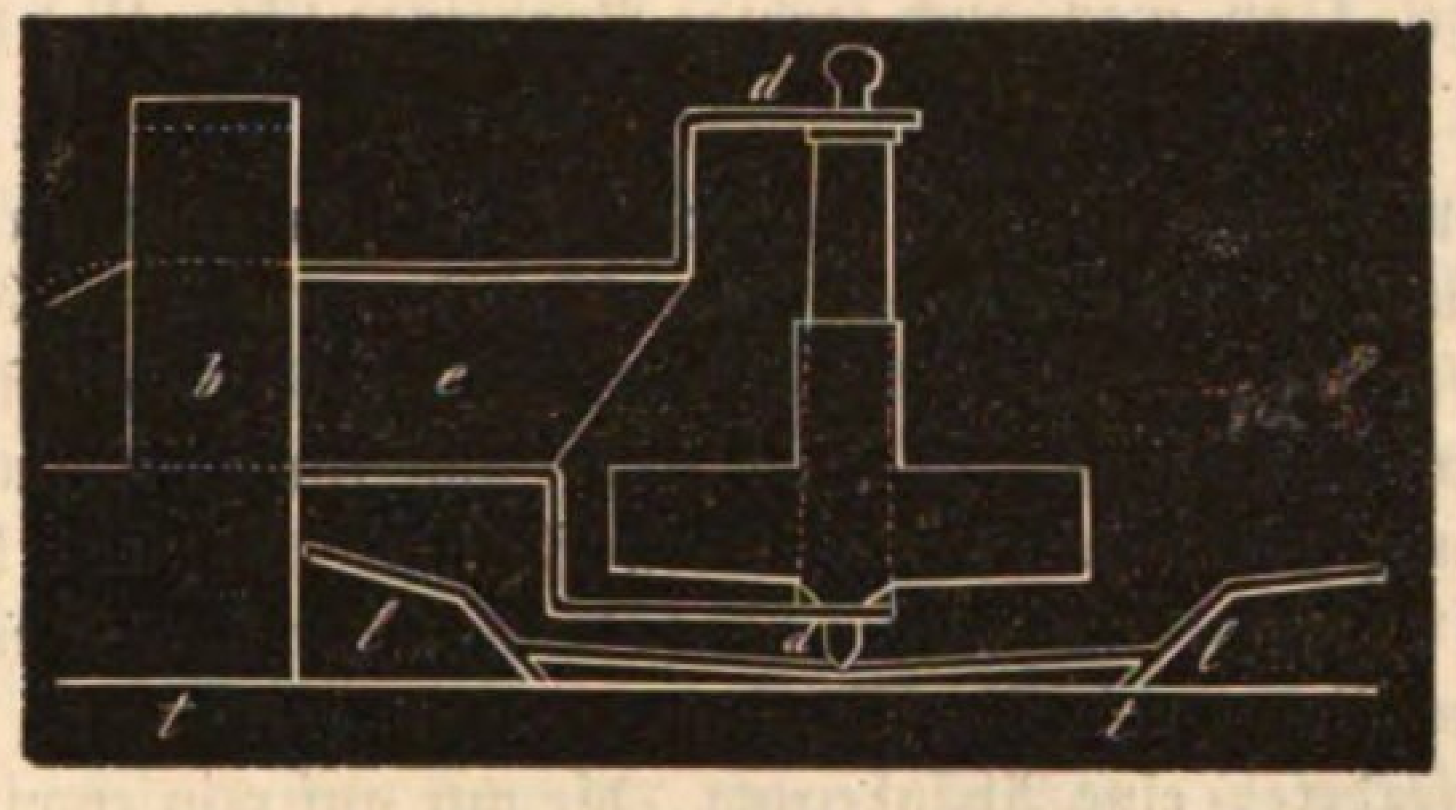
*) Wenn man durch zwei Farben eine in der Mitte liegende Mischfarbe erzeugen will, so ist nicht außer Acht zu lassen, was Plateau nachgewiesen hat, daß man nämlich diese Farben auf ungleiche Sectoren so zu vertheilen habe, daß der schwächere Eindruck der weniger lebhaften Farbe durch seine längere Dauer compensirt werde.

**) Gilb. Ann. Bd. XXXIV. S. 4.

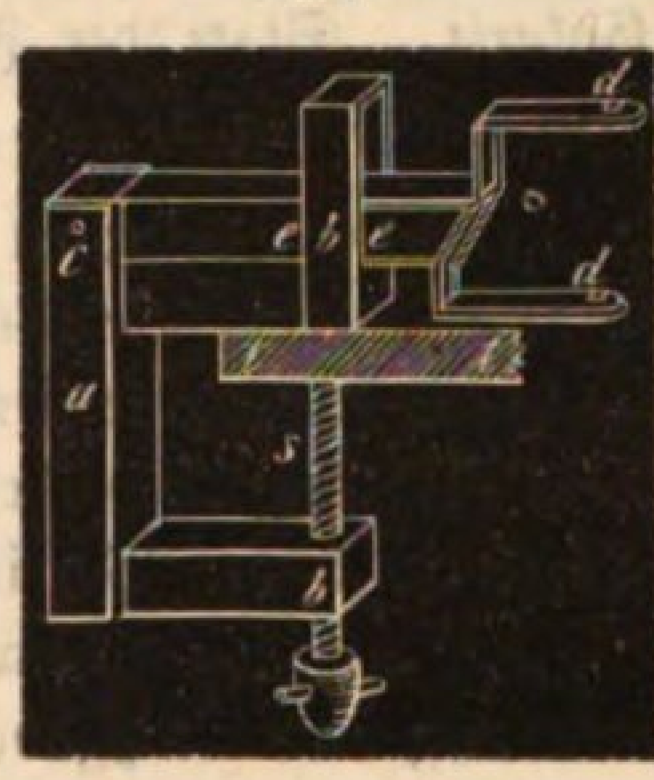
hat, welche die mittleren, nach gleichförmiger Temperatur gestimmten, Halbtöne, einer Octave darstellen.

Zu diesen Versuchen läßt sich auch der von Busolt *) construirte Farbenkreisel benutzen, obschon derselbe eigentlich zur Darstellung eines sehr schönen Farbenspieles bestimmt ist. Dieser Kreisel, den nebenstehende Figur im Durchschnitt und in Viertel-Größe seiner wirklichen Dimensionen zeigt, ist aus einer dicken

I.

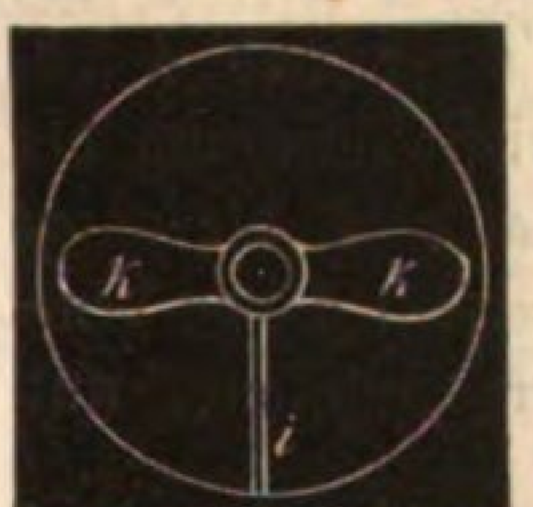


II.



Scheibe und einer durch deren Mitte gesteckten Axe zusammengesetzt. Die Scheibe besteht aus einer Legirung von Zink und Blei und wiegt für gewöhnlich fünf Pfund. Die hölzerne Axe trägt oben einen Knopf und einen Ring, beide von Messing. Unten ist ein Stift aus nicht gehärtetem Stahle eingeschraubt, auf dessen fein abgerundeter Spitze der Kreisel rotirt. Zur Hervorbringung der Rotation dient eine hanfene Schnur, die auf die Holzaxe gewickelt und mit freier Hand abgezogen wird. Um diesen Abzug mit Sicherheit bewerkstelligen zu können, wird der Kreisel nach Umwickelung, in eine besondere Vorrichtung eingehängt, welche mittelst Einschnitte in die eisernen Arme d, d den oberen und unteren metallischen Theil der Axe umschließt, und durch eine Schraubenzwinge Figur II. an einem Tische befestigt ist. Die Arme d, d stehen überdies noch mit einem hölzernen Hebel e in Verbindung, welcher um eine Axe auf und nieder bewegt werden kann. Der Kreisel wird mit seiner Spitze auf einen Porcellanteller gestellt, auf dem nun die Rotation geschieht. Um das Farbenspiel zu erzeugen, verschafft man sich eine Reihe dünner Pappscheiben, von verschiedener aber gleichförmiger Farbe, und ebenso eine Anzahl verschieden gefärbter Flügel von der Gestalt k k in nebenstehender Figur. Die Scheiben können größerer Mannigfaltigkeit wegen auch wie in i mit einer Goldleiste beklebt sein und müssen, gleich den Flügeln, in der Mitte ein Loch haben, durch welches die Axe des Kegels so eben frei hindurchgeht. Nachdem der Kreisel auf dem Teller zur freien Rotation gebracht ist, läßt man zunächst eine der Scheiben und dann nach und nach einen oder auch mehrere der Flügel sanft über die Axe auf den Kreisel herabfallen. Die

III.



IV.

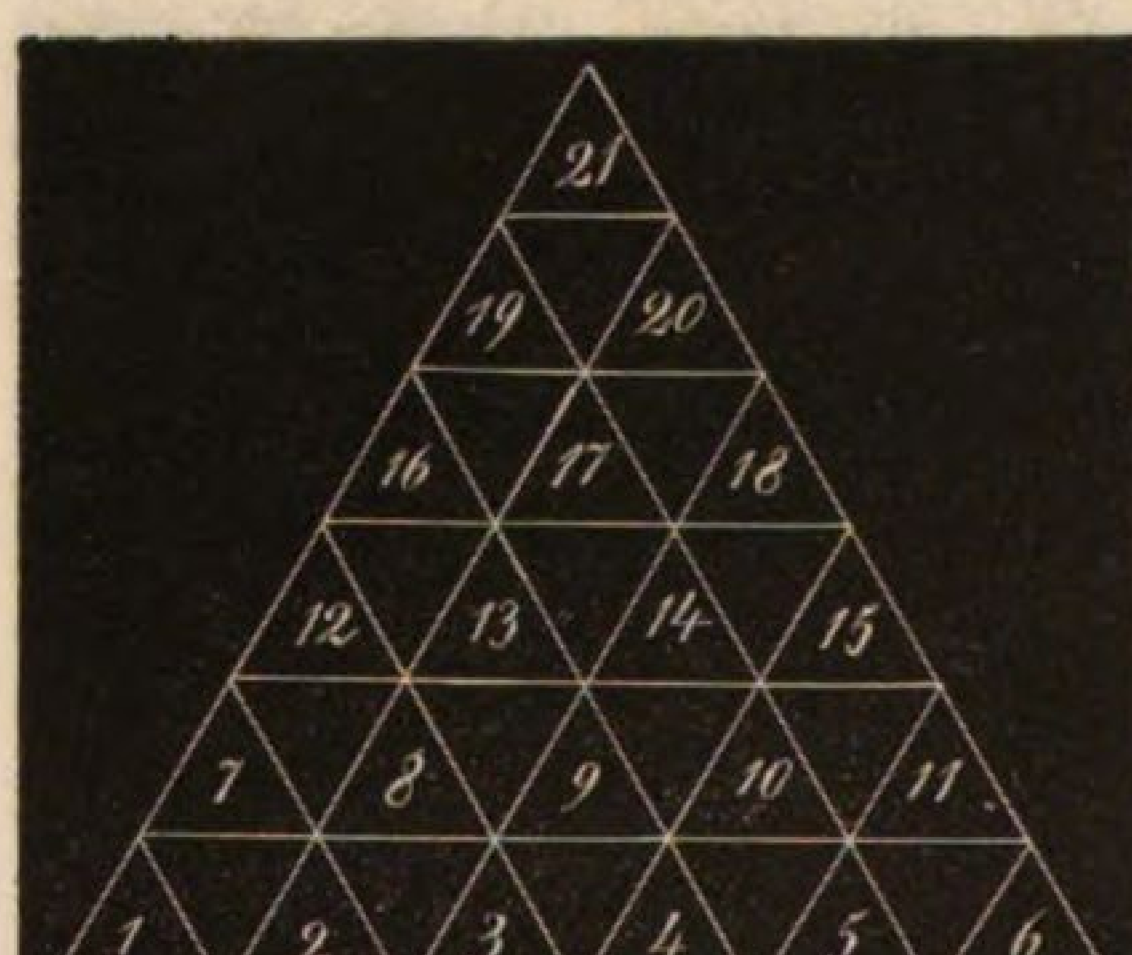


*) Poggend. Ann. Bd. XXXII. S. 656.

einfarbige Scheibe bildet den Grund des Phänomens, die Abstufungen der Farben werden durch die darauf gelegten Flügel hervorgebracht. Ist z. B. die Scheibe weiß und ein schwarzer Flügel auf dieselbe niedergelassen, so erhält man vom Umfange zum Mittelpunkte alle Nüancen vom reinsten Weiß bis zum dunkelsten Schwarz. Hat man mehrere Flügel, z. B. rothe, blaue, gelbe auf die Scheibe herabgelassen und man will eine Veränderung der daraus entstandenen Farbenmischung bewirken, so berührt man die Flügel seitwärts mit einer Feder oder einem Stück Kautschuck; dadurch verschieben sich die Flügel ein wenig und es entsteht plötzlich ein Wechsel im Colorit. Statt der Flügel kann man auch farbige Pappringe (Fig. IV.) zur Anwendung bringen.

Zu diesen Versuchen sehr geeignet ist auch ein von Grüel *) construirter Apparat, bei dem die Rotation durch ein Uhrwerk bewerkstelligt, und ihre Geschwindigkeit durch eine Druckschraube regulirt werden kann. Dem Apparate sind überdies beigefügt Scheiben zur Erzeugung von Mischfarben und zur Darstellung des Weiß durch die Vereinigung der sieben prismatischen Farben. Grüel bemerkt, daß das von Newton angegebene relative Verhältniß dieser Farben eine Abänderung nach Maßgabe der Natur und Eigenschaften der uns gegenwärtig zu Gebote stehenden Pigmente erfordere, eine Abänderung, die nur auf rein empirischem Wege gefunden werden kann.

Um aus verschiedenen Farbstoffen die Uebergänge der Farben in einander darzustellen, wurde von Mayer ein sogenanntes Farbendreieck (Farbenpyramide) vorgeschlagen und von Lichtenberg **) weiter ausgeführt. Ein gleichseitiges Dreieck wird nämlich durch Parallellinien mit seinen Seiten in eine Anzahl kleiner gleichseitiger Dreiecke zerlegt, und an die Ecken reines Gelb, reines Blau, reines Roth aufgetragen; während auf die folgenden Dreiecke Mischungen der an den Ecken stehenden Farben kommen, und zwar in allen Abstufungen, welche zwischen je zwei der erwähnten Farben hervorgebracht werden können. Ist z. B. Dreieck 1 mit reinem Roth und Dreieck 6 mit reinem Gelb bemalt, so würde zu bringen sein auf Dreieck 2 eine Mischung von 4 Theilen Roth mit 1 Theil Gelb, auf Dreieck 3: 3 Th. Roth und 2 Th. Gelb, auf 4: 2 Th. Roth und 3 Th. Gelb, auf 5: 1 Th. Roth und 4 Th. Gelb. Da indessen diese Mischung der Farbstoffe beträchtlichen Schwierigkeiten unterworfen ist, so hat auch die ganze Einrichtung eben keinen sonderlichen Werth. Lambert ***) bedient sich zu demselben Zwecke einer wachsähnlichen mit den Farben gemischten Substanz, und



*) Poggend. Ann. Bd. LXXV. S. 524.

**) Tob Mayeri opp. inedita. cura Lichtenbergii. De affinitate colorum.

***) Beschreibung einer mit dem Calau'schen Wachse ausgemahlten Farbenpyramide.

Runge*) construirte mit mehr Glück eine sogenannte Farbenkugel, um den Uebergang der einzelnen Farben aus dem tiefsten Dunkel bis zur größten Helle, so wie einer Farbe in die andere auf eine übersichtliche Weise darzustellen. Man denke sich nämlich auf der Oberfläche einer Kugel einen größten Kreis gezogen, auf welchem in drei um 120° von einander entfernten Punkten reines Roth, reines Blau, reines Gelb aufgetragen wird. Wenn man nun von diesen Punkten aus auf dem erwähnten Kreise Uebergänge der Farben in einander, nach regelmäßig zunehmender Beimischung der benachbarten Farbe, stattfinden läßt, so kommt 60° vom Blau und Gelb dasjenige Grün vor, welches sich weder dem Blau noch dem Gelb sehr nähert, von da an aber der Uebergang in Gelb auf der einen, in Blau auf der anderen Seite. Ebenso verhält es sich mit Orange und Violett. Setzt man nun in den einen Pol dieses größten Kreises reines Weiß und in den anderen reines Schwarz, so wird man in der Richtung der Meridiane, welche durch diese Pole und jenen größten Kreis gezogen werden können, alle Schattirungen der Farben bis zu ihrem Uebergange in Weiß und Schwarz auftragen können. So werden also auf jedem Parallelkreise immer dieselben Farben vorhanden sein, aber um so heller, je näher sie dem weißen, um so dunkler, je näher sie dem schwarzen Pole liegen.

Wenn man von der Spectralfarben, in welche das Sonnenlicht durch ein Prisma zerlegt wird, eine bestimmte absondert, und dann die übrigen vereiniget, so geben diese zusammen eine gewisse Farbe, welche mit jener wieder verbunden weißes Licht giebt. Man nennt nun überhaupt zwei Farben, welche einander zu Weiß ergänzen, Complementair- oder Ergänzungsfarben. Vereinigt man z. B. alle Spectralfarben mit Ausnahme der blauen, so erhält man Gelb oder Orange, je nachdem das Blau aus einem näher am Violett (Indigo) oder näher am Grün liegenden Theile des Farbenbildes genommen ist, und da auf diese Weise Blau das Gelb und das Orange zu Weiß ergänzt, so nennt man eben Blau die Ergänzungsfarbe oder die complementaire Farbe des Orange und Gelb. Ebenso ist Roth die Ergänzungsfarbe des Grün, Violett die Ergänzungsfarbe des Gelb, und umgekehrt Grün die Ergänzungsfarbe von Roth ꝛc. Wenn man die Spectralfarben in der gehörigen Ordnung als Sectoren auf eine kreisförmige Scheibe aufträgt, und zwar so, daß in der schon oben angegebenen Weise auf Orange und Indigo etwa $34^1/_4{}^0$, auf Gelb und Blau $54^2/_3{}^0$, auf Roth, Grün und Violett $60^3/_4{}^0$ kommen, so kann man allemal die beiden einander diametral gegenüberliegenden Farben als complementaire betrachten. Dove**) hat mehrere Methoden angegeben, um aus Complementairfarben Weiß darzustellen. Derselbe wählte hierzu die durch polarisirtes Licht entstehenden Farben, die sich durch ihre Lebhaftigkeit auszeichnen. Wir heben hier aus seinen Versuchen einen heraus***), bei dem er das Stereoskop (s. d. Art.) benutzte, und werden die anderen bei Betrachtung der Polarisationsfarben in einem anderen Artikel berühren. In die Seitenwände eines Stereoskopes wurden zwei runde Oeffnungen geschnitten, die sich beim Hineinsehen deckten. Vor den Spiegeln des Stereoskopes, die unbelegt

*) Construction des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zu einander und ihrer vollständigen Affinität. Hamburg 1810.

**) Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 97.

***) Eben da. S. 111.

waren, wurde ein Glimmerblatt von gleichmäßiger Dicke eingeschaltet, und dasselbe durch zwei Nicol'sche Prismen betrachtet, deren Polarisationsebenen auf einander senkrecht standen, so daß man beim Schließen des linken Auges mittelst des rechten die complementaire Farbe vor der sah, welche man beim Schließen des rechten mit dem linken wahrnahm. Bei dem Sehen mit beiden Augen erschien nun die Oeffnung farblos, wo also das Weiß aus den Complementairfarben auf den Netzhäuten beider Augen zur Darstellung kam. In großer Reinheit treten die Complementairfarben auch in den sogenannten Newton'schen Farbenringen auf (s. d. Art.).

Die verschiedenen Farben, welche die in der Natur vorkommenden Körper unserem Auge darbieten, werden in den letzteren gewöhnlich durch das von der Oberfläche dieser Körper reflectirte Licht erzeugt. Die Farbe aber, welche ein Körper im Sonnenlicht zeigt, betrachten wir als die ihm eigenthümliche oder natürliche Farbe. Doch erkennt man leicht, daß die Farben der Körper ohne das Licht keine reelle Bedeutung haben, was namentlich dadurch evident wird, daß im gewöhnlichen Sonnenlicht farblose, d. h. weiße Körper farbig erscheinen, wenn das durch ein Prisma in Farbenstrahlen zerlegte Sonnenlicht auf sie fällt, so wie auch durch den Umstand, daß Körper, welche im Sonnenlicht gefärbt erscheinen, ihre Farbe ändern, sobald man sie mit einem gefärbten Lichte beleuchtet, das nicht wie das Sonnenlicht alle Farbestrahlen in sich zu Weiß vereinigt enthält. Außerdem ist es eine bekannte Thatsache, daß Gegenstände, welche am Tage, bei Sonnenlicht, uns z. B. blau erscheinen, des Abends bei Kerzenlicht grün gesehen werden und dergl. mehr. Um die natürlichen Farben der Körper zu untersuchen, d. h. um zu erfahren, ob das von einem farbigen Körper ausgehende Licht einfach oder zusammengesetzt ist, läßt sich ein Prisma zweckmäßig gebrauchen. Das Licht ist einfach, wenn es im Prisma keine Zerlegung erfährt, zusammengesetzt, wenn es im Prisma in verschiedenfarbige Bestandtheile zerlegt wird. Es ist bereits erwähnt, daß das Licht einer Flamme von stark verdünntem Weingeiste, namentlich wenn der Docht mit Kochsalz eingerieben ist, im Prisma bis auf den unteren Theil vollkommen gelb erscheint, ebenso das Licht des Schwefels, wenn er in lebhaftem Verbrennen begriffen ist. In der Regel ist aber das farbige Licht zusammengesetzt. Wenn man eine Reihe farbiger Papierstreifchen auf ein schwarzes Papier klebt und diese aus einer bestimmten Entfernung durch ein Prisma betrachtet, so kann man sich schon überzeugen, daß das farbige Licht, welches von der Oberfläche eines Körpers reflectirt wird, keineswegs ausschließlich aus solchen Strahlen besteht, welche die Empfindung der dem Körper eigenthümlichen Farbe vorzugsweise in uns erregen. Ein Körper erscheint uns nun weiß, wenn er Licht verbreitet, das auf gleiche oder doch nahe auf dieselbe Weise wie das Sonnenlicht zusammengesetzt ist; er erscheint schwarz, wenn er entweder gar kein Licht oder verhältnißmäßig sehr wenig weißes Licht zurück wirft. Ein Körper ist roth, wenn er nur rothes Licht oder eine Mischung verschiedenartiger Strahlen reflectirt, in der Roth vorherrscht; er ist grün, wenn er entweder einfaches Grün oder ein Gemisch von Strahlen zurück wirft, in dem die grünen Strahlen in überwiegender Menge vorkommen ꝛc.

Ein Körper, welcher alle Farben des weißen Lichtes absorbirte und nur eine, z. B. die blaue Farbe reflectirte, müßte in jedem anderen als dem blauen, z. B.

im gelben Lichte des Prisma's völlig dunkel erscheinen. Wird blaues Tuch z. B. durch gelbe Strahlen erleuchtet, so sieht es beinahe schwarz aus, weil es fast alles gelbe Licht absorbirt und also nur wenig davon zurückstrahlt. Doch werfen viele Körper, wie schon bemerkt, außer denjenigen Strahlen, von welchen die eigenthümliche Farbe derselben größtentheils herrührt, auch noch andere Farbestrahlen, allerdings in geringerem Maße, zurück. Von den durchsichtigen Körpern gilt auf ähnliche Weise, daß sie einen bestimmten farbigen Antheil des auf sie fallenden weißen Lichtes absorbiren oder verschlucken, einen anderen dagegen durchlassen. Wie aber kein Körper im reflectirten Lichte vollkommen weiß ist, was er nur dann wäre, wenn er alles auf ihn fallende weiße Sonnenlicht ohne irgend welche Absorption zurückwürfe, so ist auch kein Körper vollkommen durchsichtig, da eben alle Körper das auf sie fallende Licht mehr oder weniger absorbiren und reflectiren. Ein Körper, welcher gar kein Licht reflectirte, würde vollkommen schwarz erscheinen, aber selbst vom tiefsten Schwarz wird noch einiges weiße Licht reflectirt.

Aus dem Vorstehenden erhellt nun, daß die verschiedenen Farben, in welchen die das Licht zerstreuenden Flächen der Körper uns erscheinen, ihren Grund darin haben, daß sie gewisse Farbestrahlen absorbiren, während sie andere reflectiren. So muß denn wohl auch jedem Körper irgend eine Eigenthümlichkeit in seiner eigenen Constitution zukommen, wodurch er bestimmt wird, gewisse Farbestrahlen des auf ihn fallenden Lichtes zurückzuwerfen, durchzulassen oder zu absorbiren. Auch weiß man, daß manche Körper durch eine Aenderung ihrer inneren Constitution, ohne daß sonst eine merkliche Veränderung mit ihnen vorgeht, zu einem Wechsel ihrer Farbe veranlaßt werden, was anzudeuten scheint, daß die Anordnung der kleinsten Massentheilchen eines Körpers nicht ohne Einfluß auf seine Farbe sei. Auch hat man den Farbenwechsel, welcher beim Eingehen chemischer Verbindungen vorkommt, daraus zu erklären gesucht, daß die Theilchen der Mischung anders geordnet seien, als die der Bestandtheile. Häufig stehen die Farben der Verbindungen in keiner sichtlichen Beziehung zu denen der Bestandtheile, was namentlich bei vielen gefärbten Niederschlägen der Fall ist. Die lebhaften Farben mancher Oxyde können ebenfalls hierher gerechnet werden; so das rothe und gelbe Quecksilberoxyd, die Mennige (rothes Bleioxyd) ꝛc. Worin nun die oben erwähnte Eigenthümlichkeit der Körper bezüglich ihrer Farbe bestehe, was aus dem absorbirten Farbestrahlen werde, sind Fragen, welche in dem Art. Licht, so weit es der jetzige Standpunkt der Wissenschaft zuläßt, ihre Beantwortung finden sollen. In diesem Artikel wollen wir vorzugsweise das Thatsächliche ins Auge fassen.

Ueber die Intensität des von farbigen Körpern reflectirten Lichtes hat Lambert *) einige Versuche angestellt. Am leichtesten läßt sich hiernach das reflectirte Roth und Violett mit der Weiße eines Blattes Papier vergleichen, indem man nämlich untersucht, ob ein rother oder violetter Körper ebenso viel rothes oder violettes Licht zurückwirft, als ein weißes Papier Licht von allen Farben. Wir wissen bereits, daß ein Körper vollkommen weiß sein würde, wenn er die farbigen Strahlen in dem Verhältnisse, wie sie im Sonnenlicht vorkommen, nach allen Richtungen reflectirte. Dieses absolute Weiß läßt sich nun als ideale Einheit der weißen Farbe überhaupt betrachten, so daß man das Weiß eines Körpers, der nicht alle Strahlen

*) Photometria. p. 512 sqq.

in dem gehörigen Verhältniß reflectirt, durch ein Bruch angeben kann, der eben den reflectirten Theil des auffallenden weißen Lichtes bezeichnet. Auf ähnliche Weise kann man nun auch das im weißen Licht enthaltene Roth zum Maßstabe der Röthe eines Körpers machen, indem man die Zahl aufsucht, welche angiebt, den wievielten Theil der im weißen Licht enthaltenen rothen Strahlen vom Körper zurückgeworfen wird. Und ebenso verfährt man in Bezug auf die übrigen Farben. Lambert ermittelte nun z. B. die Röthe des Siegellacks dadurch, daß er dasselbe neben einem Streifen weißen Papiers auf ein schwarzes von der Sonne stark beleuchtetes Papier legte, und darauf den weißen Papierstreifen durch ein Prisma betrachtete, während das Siegellack mit bloßem Auge gesehen wurde. Erscheint nun das Roth des Siegellacks mit dem durch das Prisma gesehenen Roth des Papiers von gleicher Intensität, so ist nach Lambert die Röthe des Siegellacks gleich der Weiße des Papiers, oder die letztere um so viel größer, als das Prisma Licht absorbirt und zerstreut. Für die mittleren Farben (zwischen Roth und Violett), bei denen dieses Verfahren nicht wohl anwendbar ist, hat Lambert ein anderes Vergleichungsmittel in Vorschlag gebracht. Man soll das Licht durch zwei runde Oeffnungen in ein möglichst dunkles Zimmer eindringen lassen, die Lichtstrahlen, nachdem sie durch ein Brennglas gegangen sind, mit einem Prisma auffangen, und dann den beiden Lichtbündeln in geeigneter Entfernung, damit das Bild der runden Oeffnung deutlich hervortrete, eine weiße und farbige Tafel entgegenstellen. Nun kann man, wenn die letztere z. B. grün ist, nachsehen, ob das Grün im prismatischen Bilde auf der grünen und auf der weißen Tafel gleich lebhaft erscheint. Findet dies nicht statt, so giebt man derjenigen Tafel, auf welcher die betreffende Farbe in größerer Intensität erscheint, eine solche Neigung, daß die Gleichheit der farbigen Erleuchtung sich herausstellt. Alsdann läßt sich mit Rücksicht auf die Grundsätze der Photometrie das Verhältniß der Intensitäten des von beiden Flächen reflectirten Lichtes berechnen. (Man vergl. den Art. Photometrie). Nach den Versuchen Lambert's ist in Bezug auf die oben erwähnte Einheit die Weiße eines Blattes sehr weißen Papiers = 0,154, des Fließpapiers nicht ganz = 0,0835, des Kremserweiß = 0,4230, die Röthe des mit Mennig gefärbten Papiers = 0,293, die Röthe des mit Zinnober gefärbten = 0,336.

Die durchsichtigen Körper verrathen in Hinsicht auf das zurückgeworfene und durchgelassene Licht eine sehr merkliche Verschiedenheit. Während bei manchen das zurückgeworfene Licht von derselben Farbe wie das durchgelassene ist, haben andere die Eigenschaft, daß sie gewisse Farbestrahlen zurückwerfen und gewisse andere durchlassen, so daß man also, wenn man durch sie hindurchsieht, eine andere Farbe wahrnimmt, als wenn man sie im reflectirten Lichte betrachtet. In den meisten Fällen nun, wo eine bestimmte Farbe ganz durchgelassen, die anderen Farben dagegen zurückgeworfen werden, ist das durchgelassene Licht die Ergänzungsfarbe des zurückgeworfenen *). So reflectirt auch ein sehr dünnes Goldblättchen gelbes Licht und läßt grünlichblaues hindurchgehen; und Dupasquier **) hat es wahrscheinlich gemacht, daß alle Metalle und außer diesen noch viele andere Substanzen, wenn sie in einem sehr fein vertheilten oder durchscheinenden Zustande in

*) Man vergl. d. Art. Farbenringe.

**) Compt. rend. T. XX. p. 64. Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 482.

einer Flüssigkeit oder Gasart suspendirt sind, von dem auffallenden weißen Lichte vorzugsweise die blauen Strahlen hindurchlassen. Diejenigen durchsichtigen Körper, welche im reflectirten wie im durchgelassenen Lichte dieselbe Farbe zeigen, scheinen alle Farben zu absorbiren bis auf die eine, welche ihre kleinsten Massentheilchen nach allen Seiten hin zurückstrahlen, also zum Theil reflectiren, zum Theil hindurchlassen. Andere Körper lassen zwei Farbenbänder hindurch, so z. B. Chromchlorür, welches Roth und Grün, — violettes Glas, das Roth und Violett durchläßt. Es sind dies die sogenannten dichromatischen Mittel *), zu denen unter anderen auch noch Chromalaun gehört. Bei solchen Körpern nun, welche zwei Arten von Farbestrahlen hindurchlassen, kommt auch der Fall vor, daß sie eine verschiedene Farbe zeigen, je nachdem ihre Dicke mehr oder weniger bedeutend ist. So beobachtete Herschel **), daß eine Auflösung von Saftgrün in einer dünnen Schicht grün, in einer dickeren aber dunkelroth erscheint, und der Grund davon soll darin liegen, daß diese Substanz eine geringe Menge grünes und sehr viel dunkelrothes Licht durchläßt. Da nämlich im Sonnenlichte nur wenige dunkelrothe, dagegen viele grüne Strahlen vorhanden sind, so werden die, wenn auch nur theilweise durchgelassenen grünen Strahlen bei einer dünnen Schicht dennoch vorherrschen. Bei einer dicken Schicht wird die Schwächung des durchgehenden grünen Lichtes größer, und so kommt es, daß das Roth, obschon anfänglich in geringer Quantität als Grün vorhanden, bei zunehmender Dicke der Schicht vorherrscht, indem es ziemlich ungeschwächt hindurchgeht. Körper, welche andere Farben reflectiren als durchlassen, existiren nun auch unter den tropfbaren Flüssigkeiten. Namentlich zeigt schwefelsaures Chinin, das in Weinsteinsäure aufgelöst und mit Wasser so weit verdünnt ist, daß es vollkommen durchsichtig und farblos erscheint, eine schöne himmelblaue Farbe, wenn man es unter gewissen Winkeln im reflectirten Lichte betrachtet. Das Blau des Himmels nnd das Roth der Abendröthe hat man gleichfalls durch die Annahme zu erklären gesucht, daß die reine Luft die mehr brechbaren Strahlen, die zusammen Blau darstellen, besser zurückwerfe, die weniger brechbaren dagegen, die in ihrer Mischung Orange und dergl. geben, vorzugsweise durchlasse. Es hat aber auf diese Farben das in der Atmosphäre vorhandene Wasser einen so entschiedenen Einfluß, daß dadurch die Richtigkeit der eben berührten Erklärung sehr in Frage gestellt wird. Man vergleiche darüber den Artikel Himmel.

Wenn die verschiedenen Farbestrahlen des Sonnenlichtes eine gleichmäßige Absorption erleiden, so muß natürlich das übrigbleibende Licht ein getrübtes Weiß darstellen. Dove ***) erhielt solches, indem er ein bläulichgrünes, ein gelbes und violettes Glas auf einanderlegte.

Was die Mannigfaltigkeit der Farben anlangt, so sieht man wohl, daß hier im Allgemeinen bestimmte Grenzen nicht festgestellt werden können, da es so viele Farbentöne geben kann, als Mischungsverhältnisse der farbigen Lichtstrahlen möglich sind. Von der enormen Mannigfaltigkeit der Färbung kann man sich einen Begriff machen, wenn man sich erinnert, daß schon die Römer allein bei ihren Mosaikarbeiten 30000 verschiedene Farben im Gebrauche hatten.

---

*) Herschel vom Lichte. Uebersetzt von Schmidt 1831. S. 251.
**) Phil. Transact. of the. Edinb. Soc. IX. p. 445.
***) Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 111.

Die eigenthümlichen Farbenerscheinungen nun, welche verschiedene Körper unter besonderen Verhältnissen zeigen, werden in eigenen Artikeln zur Sprache kommen. Göthe *) hat eine gewisse Reihe derselben durch besondere Namen bezeichnet. So nennt er katoptrische Farben diejenigen, welche auf der Oberfläche der Körper durch Reflexion entstehen. Hierher gehören namentlich die Farben feingestreifter Oberflächen, wie der Perlmutter und dergl. Paroptische Farben nennt er solche, welche man um enge Oeffnungen im dunklem Zimmer wahrnimmt, wenn durch dieselben Lichtstrahlen eindringen. Man nennt sie auch Beugungsfarben, die nach der Undulationstheorie mit den vorhergehenden auf demselben Princip beruhen (s. d. Art. Inflexion). Epoptische Farben nennt Göthe diejenigen, welche auf der Oberfläche der Körper unter besonderen Umständen zu Tage treten, so namentlich die Farbenringe Newton's (s. d. Art.).

Die älteren Ansichten über den Ursprung der Farben findet man bis auf die Newton'sche Theorie vollständig zusammengestellt in Göthe's Geschichte der Farbenlehre. Bezüglich der neueren Theorien vergleiche man aber den Artikel Licht.

Wir haben nun hier noch eine Reihe von Farbenerscheinungen zu betrachten, welche bei einer gewissen Affection des Auges auftreten und die, weil sie nur dem so afficirten Auge sich darbieten, subjective Farben genannt werden. Man nennt sie auch zufällige Farben, weil sie den Gegenständen, an denen wir sonst Farbenerscheinungen wahrnehmen, gewissermaßen als etwas zufälliges erscheinen, oder endlich nach Göthe **) auch physiologische Farben, unter der Voraussetzung nämlich, daß sie ihren Grund vorzugsweise, wenn nicht ausschließlich, in der natürlichen Beschaffenheit des Auges haben.

Eine der gewöhnlichsten hierher gehörigen Erscheinungen ist folgende. Wenn man in einem Zimmer (besonders des Morgens nach dem Erwachen) einige Zeit scharf auf ein gegen den hellen Himmel gerichtetes Fenster sieht und dann das Auge gegen eine weiße Fläche wendet, so erblickt man die Fensterrahmen hell und die Zwischenräume dunkel, während doch sonst die Fensterscheibe hell, die Rahmen dagegen dunkler erscheinen. Den zureichenden Grund dieser Erscheinung sieht man darin, daß diejenigen Stellen der Netzhaut, welche von dem hellen durch die Fensterscheiben gegangenen Lichte getroffen wurden, weniger empfänglich für das weiße Licht der Wand sind als solche Stellen der Netzhaut, auf welche das Bild der dunkleren Fensterrahmen gefallen war. Der Erklärungsgrund beruht also hier eigentlich darauf, daß das Auge durch einen etwas starken oder andauernden Lichteindruck für einen nachfolgenden derselben Art eine Zeit lang unempfindlich oder doch minder empfänglich gemacht wird. Hier gehört auch eine von Göthe ***) erwähnte Erscheinung. Wenn man nämlich ein schwarzes Bild vor eine graue Fläche hält

---

*) Sämmtliche Werke. Bd. LV. S. 7.

**) Werke. Bd. LII. S. 14 f.

***) Farbenlehre, didaktischer Theil. §. 37. S. 28.

und unverwandt, indem es weggenommen wird, auf denselben Fleck sieht, so erscheint der Raum, den es einnahm, um vieles heller. Hält man auf eben diese Weise ein weißes Bild hin, so wird der Raum nachher dunkler als die übrige Fläche erscheinen.

Aehnliches nun, wie in Bezug auf Schwarz und Weiß (oder Dunkel und Hell), findet auch statt, wenn man farbige Gegenstände auf einem weißen oder gleichfalls farbigem Grunde betrachtet, worüber Buffon *) zuerst genauere Versuche angestellt hat.

Man lege ein seidenes Band von irgend einer reinen und lebhaften Farbe oder auch einen ähnlichen farbigen Papierstreifen auf ein schwarzes von der Sonne beleuchtetes Papier. Sieht man nun den farbigen Gegenstand eine Zeit lang scharf an, so bemerkt man zunächst, daß die Intensität seiner Farbe allmälig etwas abnimmt, und wenn man dann das Auge gegen eine weiße Fläche richtet, so sieht man ein Bild des Gegenstandes, das aber die Ergänzungs- oder Complementairfarbe von der des Gegenstandes hat. So ist für einen rothen Gegenstand dieses subjective Bild grün, und umgekehrt. Betrachtet man statt des rothen ein blaues Band oder einen blauen Papierstreifen, so ist das Nachbild orange, für einen gelben Streifen violett ꝛc. Liegt das farbige Objekt, z. B. ein rosenrothes Band, auf einem weißen von der Sonne beschienenen Papier, so gewahrt man bald, daß der zugleich mit im Gesichtsfelde des Auges liegende Theil des weißen Papiers farbig erscheint, und zwar so, daß er die Ergänzungsfarbe von der des Bandes, also in unserem Beispiele die grüne Farbe zeigt. Diese Färbung erscheint am lebhaftesten dicht um den Rand des farbigen Bandes, und wenn man mit einiger Aenderung in der Richtung der Augenaxe auf diesen Rand sieht, so erkennt man hier die Ergänzungsfarbe am deutlichsten, und weiterhin an den äußersten Grenzen des Gesichtsfeldes glaubt man aus dem Weiß wieder einen schwachen Schimmer der Farbe zu sehen, welche dem Bande eigen ist. Zieht man das Band, wenn der farbige Rand um dasselbe sich zu zeigen anfängt, von dem weißen Papier hinweg, so erscheint die ganze Fläche, welche vorher von dem Bande bedeckt wurde, zwar blaß, aber doch schön und rein in der erwähnten Ergänzungsfarbe. Wenn man ferner nach Brewster aus rothem Papier eine Figur ausschneidet, dieselbe auf ein größeres weißes Papier legt, und dann einige Secunden lang mit einem oder beiden Augen unverwandt auf einen Theil derselben blickt, so wird man bemerken, daß die rothe Farbe an Glanz abnimmt. Wendet man nun das Auge von der rothen Figur ab, so sieht man deutlich eine ähnliche Figur in grüner Farbe, die eben die Ergänzungsfarbe der rothen ist.

Splittgerber **) bemalte den gläsernen, mattgeschliffenen Schirm einer Lampe an mehreren Stellen mit verschiedenen Farben, und verminderte dann die Flamme bis zum Auslöschen. In dem Moment nun vor dem gänzlichen Erlöschen erschien von jeder Farbe die complementäre. Eine besondere Vorrichtung zur Wahrnehmung subjectiver Farben hat Schaffgotsch ***) unter dem Namen „Diploskop" angegeben. Dasselbe besteht aus einer drehbaren Scheibe, welche

*) Mém. de l'acad. de sc. à Paris 1748. p. 152.
**) Poggend. Ann. Bd. XLIX. S. 587.
***) Poggend. Ann. Bd. LIV. S. 193.

zur Hälfte roth, zur Hälfte grün bemalt ist, und die durch zwei vor die Augen gehaltene Röhren so betrachtet wird, daß das eine Auge nur rothes und das andere nur grünes Licht aufnimmt, so lange bis der betreffende Eindruck sich abgestumpft hat. Wird dann die Scheibe in schnelle Drehung versetzt, so sieht das Auge, welches bisher das Roth wahrgenommen, nur Grün, und das andere, welches den Eindruck des Grünen aufgenommen, nur Roth. Hieran schließen sich einige Versuche von Dove *). Bei denselben wurde aber der Netzhaut, nachdem dem Auge zuerst zwei Farben dargeboten worden waren, der Eindruck der einen Farbe plötzlich entzogen, wo sich dann an dieser Stelle die andere Farbe in größter Lebhaftigkeit darstellte.

Auf einem schnell rotirenden Farbenkreisel befand sich eine Scheibe, welche einen gelben und blauen Sector im Größenverhältniß von 1 : 4 enthielt, um ein in der Mitte stehendes Grün als Mittelfarbe zu geben. Dove bewegte nun ein dunkles Stäbchen von der Dicke eines dünnen Bleistiftes über die in gleichförmiger Mischfarbe erscheinende Scheibe parallel mit sich selbst fort, und sah den Stab als ein Stabgitter mit abwechselnd blauen und gelben äußerst lebhaft gefärbten Speichen. Die größere Breite der gelben Speichen zeigte zugleich, daß, wenn der Stab Blau verdeckt, man Gelb sieht, so wie er hingegen über Gelb weggleitet, Blau. Wenn die Geschwindigkeit der Fortbewegung des Stabes zunimmt, so treten die Speichen weiter aus einander, was auch stattfindet, wenn bei gleibleibendem Fortrücken des Stabes die Drehungsgeschwindigkeit des Stabes abnimmt. Da man die Anzahl der Speichen leicht zählen kann, und diese so oft sich vervielfältigen als der Stab von einer Farbe zur anderen übergeht, so giebt die Anzahl der blauen Speichen, wenn nur ein gelber Sector vorhanden ist, unmittelbar die Anzahl der Umdrehungen des Kreisels in einer gegebenen Zeit. Ist umgekehrt die Rotationsgeschwindigkeit des Kreisels bekannt, so läßt sich daraus ein Schluß ziehen auf die Geschwindigkeit eines geradlinig fortrückenden Körpers. Wurde der Stab vor einer, nach Fechner's **) Angabe, spiralförmig mit zwei Farben bemalten rotirenden Scheibe vorbei bewegt, so schienen die Speichen des erscheinenden Gitters vom Rande nach der Mitte zu sich büschelförmig zu erweitern. Dove bemerkt noch, daß, wenn man, während der unbewegte Stab vor der rotirenden sectorenweise bemalten Scheibe sich befindet, das Auge schnell zur Seite bewegt, ganz dieselbe Erscheinung hervortritt, als wenn bei ruhendem Auge der Stab parallel mit sich selbst fortrückt. Ein solcher unbewegter Stab ist nun die senkrechte Axe des Kreisels. Bewegt man daher den Kopf rasch zur Seite, so sieht man die Axe des Kreisels ebenfalls als farbiges Stabgitter.

Dove ***) benutzte auch zur Darstellung subjectiver Farbenerscheinungen Scheiben, bei denen auf weißem Grunde eine archimedische Spirale mit einer lebhaften Farbe gemalt war. Wurde nun eine solche Scheibe mit Hülfe des früher erwähnten Grüel'schen Apparates in Rotation versetzt, so zeigte sich auf dem unbemalten Raume der Scheibe die complementäre Farbe der Figur in großer Lebhaftigkeit, besonders dann, wenn die Scheibe, nachdem ihre freie und ziemlich

*) Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 112.
**) Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 227. Taf. III. Fig. 7.
***) Poggend. Ann. Bd. LXXV. S. 526.

rasche Rotation einige Secunden lang beobachtet worden, in ihrer Bewegung gehemmt und verlangsamt ward. Diese Methode bietet den Vortheil, daß die Erscheinung von einer größeren Anzahl von Personen gleichzeitig wahrgenommen werden kann. Das Urtheil, bei welcher Farbe die complementäre Färbung am lebhaftesten hervortritt, fällt, wie Dove bemerkt, bei verschiedenen Personen äußerst verschieden aus. Auch ist die Rotationsgeschwindigkeit, bei welcher das Maximum der Wirkung eintritt, bei den weniger empfänglichen Augen größer als bei den sehr empfänglichen. Die Ursache der Lebhaftigkeit dieser Färbung sucht Grüel darin, daß das Auge unter dem fortdauernden Einfluß der rotirenden Figur keinen Ruhepunkt finde, daher die Erregung der complementären Farbe auf dem ebenfalls nie ruhenden Weiß in jedem Moment erneuert werde.

Es ist bereits hervorgehoben, daß wenn man einen auf einer weißen Fläche befindlichen gefärbten Gegenstand eine Zeit lang betrachtet, um denselben ein Rand entsteht, der die Ergänzungsfarbe von der des Gegenstandes hat. Die subjectiven oder zufälligen Farbenränder zeigen sich nun auch, wenn man zwischen ein Fenster oder eine weiße Fläche und das Auge ein gefärbtes, durchscheinendes Papier bringt und auf dieses einen schmalen, etwa 1 Millimeter breiten Streifen von weißem Papier legt. Der letztere erscheint dann in der dem gefärbten Papier entsprechenden Ergänzungsfarbe. Geeignet zu diesen Versuchen sind auch gefärbte Gläser, auf welche man den weißen Streifen klebt. Ist die Breite dieses Streifens größer, beträgt sie z. B. mehr als $0^{m},012$, so gewahrt man in seiner Mitte, wenn das durchscheinende Papier oder das Glas roth ist, eine röthliche Farbe, während nur seine Ränder eine grüne Farbe zeigen. Aus dieser Wahrnehmung Plateau's scheint zu folgen, daß der subjective Farbenrand eines gefärbten Gegenstandes, nachdem seine Intensität bis zu einer gewissen Entfernung abgenommen hat, von einem anderen sehr schwachen Farbenrande umgeben wird, der dieselbe Farbe wie der Gegenstand hat. Mann nennt denselben wohl auch den secundären Farbenrand.

Auf das Dasein des zufälligen Farbenrandes, welcher jeden farbigen Gegenstand bei geeigneter Beleuchtung umgiebt, mag großentheils der gegenseitige Einfluß benachbarter Farben beruhen, indem zu jeder Farbe die Ergänzungsfarbe der anderen sich gesellt. Chevreul *) hat hierüber eine längere Reihe von Untersuchungen angestellt und dieselben in einer besonderen Abhandlung niedergelegt. Sind die neben einander befindlichen Farben Ergänzungsfarben, so findet eine wechselseitige Verstärkung und Erhöhung des Glanzes statt, was man gewöhnlich dem Contrast zuschreibt **). So erhält ein weißer Streifen, der neben einem gefärbten liegt, die Ergänzungsfarbe des letzteren, während dieser eine glänzendere, aber dunklere Farbe annimmt. Ist dagegen der eine Streifen schwarz, der andere gefärbt, so scheint sich jener gleichfalls mit der Ergänzungsfarbe des anderen zu bekleiden, während dieser glänzender und heller wird. In ähnlicher Weise wirken Weiß und Schwarz auf einander, so daß das erste dunkler, das zweite heller

*) Sur l'influence que deux couleurs peuvent avoir l'une sur l'autre quand on les voit simultanément.

**) Nach Osann sollen die sogenannten Farben durch den Contrast objectiver Natur sein, was Fechner widerlegt hat (Poggend. Ann. Bd. XLIV. S. 221).

erscheint. Einen nicht uninteressanten, hierher gehörigen Versuch hat Göthe *) beschrieben. Man klebe nämlich Streifen grauen Papiers von verschiedenen auf einander folgenden Schattirungen, der Ordnung nach neben einander; man stelle sie vertical und wird finden, daß jeder Streifen an der Seite wo er an das Hellere stößt, dunkler, an der Seite, mit der er ans Dunkle stößt, heller aussieht; dergestalt, daß die Streifen zusammen dem Bilde einer cannelirten Säule, die von einer Seite her beleuchtet ist, völlig ähnlich sehen.

Da die Ergänzungsfarben sich wechselseitig erhöhen und einander mehr Glanz verleihen, so sind sie auch bei einer Zusammenstellung verschiedener Farben einander zu nähern, dagegen Farben derselben Art, welche sich gegenseitig schwächen und entstellen, aus einander zu halten. Man nennt die complementären Farben wohl auch harmonische, weil sie neben einander gestellt viel mehr als andere auf das Auge einen gefälligen Eindruck machen. So gefallen also neben einander vorzugsweise Roth und Grün, Goldorange und Blau, Violett und Gelb.

Das complementäre Nachbild dauert zwar im Allgemeinen um so länger und mit desto größerer Intensität fort, je andauernder der ursprüngliche Eindruck war, doch hat man außerdem noch die Erfahrung gemacht, daß es um so später eintritt, je intensiver der primäre Lichteindruck ist, weil dann dieser selbst nach Entfernung des Objects desto länger auf der Netzhaut beharret. Dagegen erscheint der complementäre Eindruck nach Beseitigung des Objects um so schneller und reiner, je schwächer der anfängliche Eindruck ist.

Die bisher betrachteten subjectiven Farbenerscheinungen erklärt man sich gewöhnlich auf eine Weise, die wir schon oben in Bezug auf Schwarz und Weiß hervorgehoben haben. Wenn die Empfindlichkeit der Netzhaut durch anhaltendes Wahrnehmen einer bestimmten Farbe für diese abgestumpft ist, so wird dieselbe bei nun einfallendem (alle Farben enthaltenden) weißem Lichte nicht für die jene Farben hervorrufenden Strahlen empfänglich sein, sondern nur für die übrigen Farbestrahlen, welche die betrachtete Farbe zu Weiß ergänzen. Sieht man also einen rothen Streifen auf einem weißen von der Sonne beleuchteten Papier eine Zeit lang scharf an und wendet dann das Auge gegen eine weiße Fläche, so erscheint der Streifen grün, weil hier die Netzhaut für die rothe Farbe abgestumpft ist und demnach, gegen die weiße Fläche gerichtet, nur noch den Gesammteindruck derjenigen Farben empfinden kann, welche nach Wegnahme der rothen Strahlen übrig bleiben; dies giebt aber die grüne Farbe. So muß das Nachbild immer complementär zur Farbe des Objects erscheinen.

Gegen diese fast allgemein angenommene Erklärungsweise sind jedoch Bedenken erhoben worden, namentlich von Osann **), Plateau ***) und Lehot ****); welche außer anderem besonders hervorheben, daß man auch auf schwarzem Grunde ein complementäres Nachbild wahrnehme. Dieser Einwurf

*) Werke. Bd. LX. S. 44.

**) Poggend. Ann. Bd. XXVII. S. 694; Bd. XXXVII. S. 287; Bd. XLII. S. 72.

***) Ann. de chim. et phys. T. LIII. p. 386; Poggend. Ann. Bd. XXXII. S. 543. Bd. XXXVIII. S. 626.

****) Ann. des sciences d'observ. par Saigey et Raspail. T. III. p. 3. Vergl. auch Fechner's Repert. der Physik. Bd. II. S. 228.

wurde indessen von Fechner *), der die subjectiven Farben mit größter Ausdauer und Sorgfalt untersucht hat, durch Hinweisung auf die Thatsache beseitigt, daß auch vom tiefsten Schwarz noch weißes Licht reflectirt wird. Auch erscheint das Nachbild in diesem Falle, nämlich auf dunklem Grunde, bei weitem weniger lebhaft, als wenn das Auge gegen eine weiße Fläche gerichtet wird. Weiter hat man gegen die obige Erklärungsweise eingewendet, daß nach ihr die abwechselnden Erscheinungen des ursprünglichen Eindrucks und des zufälligen Bildes nicht zu begreifen seien. Es kommt nämlich vor, daß das complementäre Bild plötzlich verschwindet und dann in seinem früheren Glanze wieder hervortritt, wobei dann auch zuweilen die Farbe des Gegenstandes wieder erscheint, um mit der complementären zu wechseln. Fechner hat jedoch darauf aufmerksam gemacht, daß jede Bewegung des Auges oder der Augenlieder, ja selbst eine Bewegung des übrigen Körpers, dem Anscheine nach also Alles, was die Gleichförmigkeit des Gefäß- und Nerveneinflusses auf das Auge stört, das Nachbild zum Verschwinden disponire, daß sich dasselbe aber in kurzer Zeit bei fixirt gehaltenem Auge wieder belebe. Um aber den Wechsel zwischen dem complementären Nachbild und der ursprünglichen Farbe, worauf Plateau seinen Einwurf vorzugsweise stützt, wahrzunehmen, kann man nach demselben durch eine 0,5 Meter lange, 3 Centimeter weite und inwendig geschwärzte Röhre auf ein gut beleuchtetes rothes Papier, das über die Ränder der Röhre hinlänglich hinausragt, etwa 1 Minute lang sehen, während man das andere Auge mit einem Taschentuche bedeckt, um dasselbe gegen das Eindringen des Lichtes genügend zu sichern. Nimmt man hierauf, indem dieses Auge verschlossen bleibt, die Röhre hinweg, so gewahrt man auf der weißen Wand oder Decke des Zimmers ein kreisförmiges Bild, das zuerst grün erscheint, bald darauf roth, dann wieder grün und hiernach wieder roth wird. Plateau und Quetelet beobachteten auf diese Weise vier successive Abwechselungen. Reflectirt man nun auf diese Erscheinung etwas genauer, so erkennt man wohl, daß sie eigentlich nicht gegen die gewöhnliche Erklärungsweise angeführt werden kann. Wenn man das für eine bestimmte Farbe, z. B. für Roth, abgestumpfte Auge auf eine weiße Fläche richtet, so weiß man, daß es den Gesammteindruck aller im weißen Lichte noch übrigen Farbenstrahlen empfindet, also hier den des Grünen. Nun kann dasselbe, wie für die ursprüngliche Farbe, so auch für die jetzt eindringende grüne Farbe nach einer gewissen Zeit seine Empfindlichkeit verlieren, und damit zugleich wieder empfänglich werden für die von der weißen Fläche kommenden rothen Strahlen, und so innerhalb gewisser Grenzen abwechselnd weiter. Der gewichtigste Einwurf, welchen Plateau gegen diese Theorie hervorgehoben, ist der, daß man nach dem Betrachten eines farbigen Gegenstandes auch im völlig verschlossenen Auge ein complementäres Nachbild wahrnehme. Allein das letztere tritt in diesem Falle keineswegs so regelmäßig ein, als wenn das Auge gegen eine weiße Fläche gerichtet wird. Betrachtet man einen farbigen Papierstreifen auf einem weißen von der Sonne beleuchteten Papier oder sieht man gegen das letztere durch ein farbiges Glas, das man demselben nahe hält, so erscheint allerdings öfter im verschlossenen und eine Zeit lang ruhig gehaltenen Auge ein complementäres Nachbild; aber hier entsteht eben die Frage, ob nicht das weiße Licht der Umgebung in dem Moment, wo das Auge geschlossen wird, bereits seine Wirkung geübt habe. Dagegen

*) Poggend. Ann. Bd. XLIV. S. 221, 513; Bd. L. S. 193. 427.

habe ich niemals ein complementäres Nachbild beim Schließen des Auges wahrgenommen, nachdem ich eine Zeit lang durch eine geschwärzte Papphröhre, die an einem Ende mit einem farbigen Glase bedeckt war, nach einer weißen von der Sonne oder dem Tageslicht beleuchteten Fläche gesehen hatte, während das andere, offene Ende der Röhre das Auge vollständig umgab, obwohl das Nachbild bei geöffnetem Auge sehr lebhaft hervortrat, sobald das farbige Glas hinweggezogen wurde. Uebrigens wurde das letztere beim Schließen des Auges von einem undurchsichtigen Gegenstande bedeckt, so daß weiter kein Licht in die Röhre eindringen konnte. Sollte nun dennoch unter diesen Umständen in empfindlichen Augen ein complementäres Nachbild hervortreten, so liegt der Erklärungsgrund in dem Umstande, daß farbige Gläser außer der ihnen eigenthümlichen Farbe noch mehr oder weniger weißes Licht hindurchlassen. Beiläufig sei hier noch bemerkt, daß der oben (S. 45) beschriebene Versuch mit dem Diploskop keine Bedeutung hinsichtlich der Frage hat, ob das weiße Licht nothwendig sei zur Erzeugung des complementären Nachbildes. Denn bei diesem Versuche wird ja dem Auge, nachdem es die eine Farbe bis zur Ermüdung betrachtet hat, die andere complementäre objectiv dargeboten, die es dann natürlich auch sieht.

Wenn man nach Plateau *) ein rothes Object angeschaut hat und dann die Augen auf einen gelben Grund richtet, oder wenn man ein grünes Object angesehen hat und die Augen auf einen blauen Grund richtet, so wird man in jenem Falle ein gelblichgrünes, im zweiten ein violettes Nachbild wahrnehmen. Da nun der Grund dort kein Grün, hier kein Roth zur Complementärfarbe liefert, so meint Plateau, die letztere müsse im Auge sich selbstständig bilden. Die Schwierigkeit, diesen Versuch nach der älteren Absicht zu erklären, verschwindet nach Fechner **), wenn man theils berücksichtigt, daß alle Farben, die wir anwenden, außer ihrem eigenthümlichen Farbenlichte auch noch mehr oder weniger weißes Licht beigemengt enthalten, theils auf das im Auge beständig vorhandene innere Licht Rücksicht nimmt. Die Complementärfarbe des Farbenflecks, welche hieraus entspringt, mischt sich dann in den angeführten Fällen mit der eigenthümlichen Farbe des Grundes.

Fechner ***) stellte noch mit Beziehung auf die Behauptung Plateau's, daß das complementäre Nachbild auch bei völliger Abwesenheit des weißen Lichtes sich einstelle, folgenden Versuch an. Eine monochromatische Lampe, wozu einfach eine Untertasse voll Baumwolle diente, welche letztere durch und durch mit Kochsalz eingerieben und dann mit Weingeist befeuchtet war, wurde in das mit einer Oeffnung des Ladens versehene finstere Zimmer gesetzt, das Loch mit einem gelben Glase verdeckt, und durch dasselbe eine Zeit lang mit fest darauf fixirten Augen nach dem Himmel gesehen. Der prämäre gelbe Farbeneindruck, den die gelbe Oeffnung gewährt, ruft einen complementären violetten hervor, welcher sich, nach Abwendung von dem Loche, vollkommen deutlich auf einer weißen Tafel, die, im finstern Zimmer stehend, blos von dem homogenen gelben Lichte erleuchtet wird, darstellt, selbst auch dann, wenn man das Loch im Laden nun ganz schließt,

*) Annal. de chim. et phys. T. LVIII. p. 352.
**) Poggend. Ann. Bd. XLVI. S. 513. 520.
***) Eben da. S. 516.

damit nicht das gelbe Glas (als nicht homogen gefärbt) noch etwas fremdes Licht durchlasse.

Fechner *) fand sich im Folge dieses Versuches veranlaßt, die gangbare Theorie der zufälligen Farbenerscheinungen etwas zu modificiren. Die Netzhaut, sagt er, wird an den Stellen, wo sie eine Zeit lang einen gewissen Farbeneindruck erfahren oder eine gewisse Farbenreaction geäußert hat, für einige Zeit nachher unfähiger, auf das Ursächliche dieser Farben zu reagiren, dagegen desto fähiger, diejenigen Farbenreactionen zu äußern, hinsichtlich deren sie unthätig war und ausgeruht hat, sei übrigens das Ursächliche, was das Auge zur Farbe anregen will, in oder außer dem Auge. Hierdurch soll sich, in Uebereinstimmung mit der obigen gewöhnlichen Ansicht, sehr wohl erklären, wie das an sich zur Lichtentwickelung fähige, ja stets in einiger Lichtentwickelung begriffene Auge auch, wenn gar kein äußeres Licht mehr in dasselbe eindringt, doch die Complementärfarben entwickeln kann. Nach dieser Ansicht Fechner's wird also dem im Auge selbstthätig entwickelten Lichte oder vielmehr einer von Innen heraus angeregten Lichtempfindung ein bestimmter Antheil an der Erscheinung der Complementärfarben zugeschrieben. Da jedoch alle Farben, die wir anwenden, namentlich auch die farbigen Gläser, außer der ihnen eigenthümlichen Lichtfarbe mehr oder weniger weißes Licht beigemengt enthalten, so ist wohl in dem obigen Fechner'schen Versuche schon während der Zeit, in der man durch das gelbe Glas nach dem Himmel sieht, in sonst empfindlichen Augen zureichende Veranlassung zur Entstehung des complementären Nachbildes gegeben.

Plateau **) hat eine andere Theorie dieser Farbenerscheinungen aufgestellt, die im Wesentlichen auf dem Princip beruht, daß sich die Netzhaut für je zwei complementäre Farben in entgegengesetzten Zuständen befinde, und daß dieselbe, durch eine bestimmte Farbe angeregt, nun selbst das Bestreben in sich trage, in den entgegengesetzten Zustand überzugehen. Ist also ein Theil der Netzhaut durch Einwirkung gewisser Farbestrahlen aus dem normalen Zustande herausgetreten, so dauert der anfängliche Eindruck nach Wegfall der äußeren Ursache noch eine Zeit lang fort, natürlich mit allmälig abnehmender Intensität, bis der normale Zustand wieder erreicht ist. Hiermit tritt jedoch noch keineswegs Ruhe ein, sondern der betreffende Theil der Netzhaut geht nun in den entgegengesetzten Zustand über, wobei dann das complementäre Nachbild zum Vorschein kommt. Alsdann nimmt dieser letztere Zustand wieder ab, um dem anfänglichen Platz zu machen rc., so daß der afficirte Theil der Netzhaut durch eine Reihe solcher Schwingungen, deren Zahl und Intensität nach den Umständen verschieden ist, in den Zustand der Ruhe zurückkehrt. Plateau gab dieser Theorie noch eine Erweiterung, indem er die Erscheinung der Irradiation (s. d. Art.) damit in Verbindung brachte. Die Irradiation besteht nämlich der Hauptsache nach in einer seitlichen Ausbreitung des Lichteindruckes im Auge, da derselbe sich nicht blos auf die unmittelbar getroffenen Stellen der Netzhaut beschränkt, sondern über die letzteren mit abnehmender Intensität und bis zu einer gewissen Grenze peripherisch hinausgeht. Die noch weiter entfernten,

---

*) Poggend. Ann. Bd. XLIX. S. 516 ff.

**) Essai d'une Theorie generale comprenant l'Ensemble des apparences visuelles etc. Brux. 1834. 4.

aber in der Nähe dieser Grenze liegende Punkte der Netzhaut sollen nun dabei nach Plateau in einen entgegengesetzten Zustand gerathen und so den zufälligen Farbenrand farbiger Objecte erzeugen, und da der Wechsel solcher entgegengesetzter Zustände sich unter Umständen über einen größeren Theil der Netzhaut undulatorisch verbreiten könne, so erkläre sich daraus auch der secundäre Farbenrand, der in der Farbe des Gegenstandes zuweilen hervortritt.

Man erkennt, daß nach dieser Theorie die zufälligen Farben als subjective im strengen Sinne aufgefaßt werden, während ihnen nach der früheren Erklärungsweise noch eine gewisse Objectivität zukommt, in sofern nämlich als sie durch Lichtstrahlen, welche der erscheinenden complementären Farbe entsprechen, veranlaßt werden. Uebrigens hat die Theorie Plateau's im Princip große Aehnlichkeit mit der von Göthe im Allgemeinen ausgesprochenen Ansicht, nach welcher die Netzhaut, wenn sie durch eine bestimmte Farbe afficirt wird, in sich die Forderung nach der complementären tragen soll. Wiewohl nun diese Theorie gerade keinen Widerspruch involvirt, so ist doch gewiß, daß sie bezüglich der Art und Weise, wie die Netzhaut in jene entgegengesetzten Zustände gerathen kann, noch in tiefes Dunkel eingehüllt ist. Sobald es aber durchaus erwiesen, daß nach dem Anblick homogener farbiger Objecte complementäre Nachbilder auch bei völliger Abwesenheit des weißen Lichtes wahrgenommen werden können, so kann die gangbare Theorie allein nicht mehr genügen, wenn dieselbe auch sonst sich durch Einfachheit und, um ihres mehr physikalischen Charakters willen, durch größere Klarheit empfiehlt. Die Erklärung der zufälligen Farben wäre dann im Bereich der Physiologie und Psychologie zu suchen, und in diesem Falle könnte auch der Plateau'schen Ansicht eine gewisse Giltigkeit nicht abgesprochen werden.

Complementäre Farbenerscheinungen subjectiver Art nimmt man nun auch sehr deutlich bei den sogenannten farbigen Schatten wahr. Wenn auf einen undurchsichtigen Körper von zwei verschiedenen Seiten her Licht fällt, so wirft derselbe zwei Schatten, von denen der eine von den Strahlen des einen Lichtes, der andere dagegen nur von den Strahlen der anderen Lichtquelle beleuchtet wird. Ist nun das eine Licht weiß, das andere farbig, z. B. roth, so erscheint der von dem letzteren Lichte beleuchtete Schatten in der Farbe dieses Lichtes, der andere hingegen in der entsprechenden Complementärfarbe, also grün. Man stelle in der Dunkelheit zwei brennende Kerzen neben einander und davor einen dünnen aufrechten Stab, so daß auf einer weißen Fläche zwei Schatten entstehen. Hält man nun vor das eine Licht ein farbiges Glas, so daß die weiße Fläche gefärbt erscheint, so wird man den von dem nun farbigen Lichte geworfenen, und von dem farblosen Kerzenlichte beleuchteten Schatten in der betreffenden Ergänzungsfarbe sehen *). Auch gehören hierher die blauen und gelblichen Schatten, wenn ein Gegenstand gleichzeitig vom Kerzen- und Mondlicht beleuchtet wird. Der Schatten des Mondlichts erhält eine gelbliche Beleuchtung vom Kerzenlichte, und während dies geschieht, erscheint der Schatten des Kerzenlichtes complementär blau.

Wenn man nun den complementär gefärbten Schatten, nachdem man das Auge eine Zeit lang geschlossen, um den Eindruck der benachbarten Farbe zu verwischen, durch eine innen geschwärzte Röhre betrachtet, so erscheint derselbe in der

*) Göthes Farbenlehre, didaktischer Theil §. 68. S. 44.

Farbe des Lichts, wovon er eben beleuchtet wird, woraus erhellt, daß die Complementärfarbe dieses Schattens subjectiver Natur und also durch Mitwirkung des in der Nähe befindlichen farbigen Lichtes erzeugt ist. Man erklärt sich nämlich die complementär gefärbten Schatten nach der älteren Theorie der zufälligen Farbenerscheinungen, indem man annimmt, daß das Auge für das farbige Licht, welches den vom weißen Lichte beleuchteten Schatten umgiebt, abgestumpft sei und deshalb nur noch den Gesammteindruck aller derjenigen Farbestrahlen aufnehme, welche im weißen Lichte nach Hinwegnahme jenes farbigen Lichtes übrig bleiben, woraus dann eben die complementäre Farbe des vom weißen Lichte beleuchteten Schattens resultire.

Fechner *) brachte, um mit Bequemlichkeit Versuche über diese Schatten anstellen zu können, im Fensterladen eines finsteren Zimmers zwei quadratische Oeffnungen von 6 Par. Zoll Seite, deren Mitten einen Abstand von nahe 2 Fuß von einander hatten, horizontal neben einander an. Dieselben waren an den oberen und unteren Rändern mit Fugen versehen, um theils undurchsichtige Schieber zur Verkleinerung oder Verschließung des Loches, theils Farbengläser horizontal einschieben zu können. In die eine Oeffnung schiebt man nun ein Farbenglas, durch die andere läßt man das Tageslicht ein, und verkleinert letztere durch den undurchsichtigen Schieber so weit, bis der Complementärschatten mit dem Maximum der Intensität sich gefärbt zeigt. So läßt es sich immer dahin bringen, daß die Intensität seiner Färbung derjenigen des benachbarten objectiven Lichts gleichkommt, wozu aber immer nothwendig ist, daß die tageshelle Oeffnung kleiner als die farbige sei. Stellt man nun vor die Oeffnungen einen undurchsichtigen Körper, so erhält man auf einer weißen Tafel zwei Schatten, von denen der eine durch das Licht der farbigen Oeffnung, der andere durch das von der unbedeckten Oeffnung herrührende weiße Licht beleuchtet wird. Ist das eingesetzte Glas beispielsweise roth, so nimmt der zu der tageshellen Oeffnung gehörige Schatten eine objectiv rothe Farbe an, indem er von dem Licht der rothen Oeffnung beleuchtet wird, dagegen erscheint der zu der letzteren gehörige Schatten, welcher seine Beleuchtung von der anderen, weißes Licht gebenden Oeffnung erhält, in der complementären Farbe des Glases, also grün. Bringt man nun nach Fechner, nachdem die farbigen Schatten schon erzeugt und mit bloßem Auge betrachtet worden sind, eine innen geschwärzte Papproͤhre vor das eine Auge, während das andere geschlossen wird, und richtet sie auf den complementären Schatten, so dauert die Färbung desselben unverändert fort. Und dies ist auch noch der Fall, wenn während des fortgesetzten Durchsehens durch die Röhre das Farbenglas von der Oeffnung hinweggenommen, ja selbst dann noch, wenn dasselbe durch ein ganz anderes gefärbtes ersetzt wird. In dem Moment jedoch, wo die Röhre vom Auge genommen, so daß dieses vom neuen Contrast afficirt werden kann, erscheint der Schatten in der, durch das neue Farbenglas geforderten, Complementärfarbe. Es folgt also aus diesem Versuche, daß die Complementärfarbe, nachdem sie einmal im Auge erzeugt ist, selbst nach Aufhören ihres Ursächlichen fortzubestehen strebt, dann aber auch, daß sie nur unter Mitwirkung des benachbarten farbigen Lichtes zu Stande kommt, und somit nicht objectiver, sondern subjectiver Natur ist. Ganz anders dagegen verhält sich der objectiv gefärbte Schatten. Blickt man nämlich durch die

*) Poggend. Ann. Bd. XLIV. S. 221. 229.

schwarze Röhre auf diesen Schatten und wechselt das Farbenglas, so erkennt man den Wechsel sofort an der entsprechend veränderten Farbe des Schattens.

Betrachtet man den complementären Schatten, nachdem man ihn mit bloßem Auge gesehen, wie oben durch die innen geschwärzte Röhre, und schließt nun, während dies geschieht, die Oeffnung, durch welche das Tageslicht einfällt, so nimmt der Schatten, indem er dabei viel dunkler wird, sogleich die objective Farbe des Glases an, mit welchem die andere Oeffnung verdeckt ist. Daß diese Färbung wirklich objectiv sei, herrührend von der Zerstreuung des Farbenlichts in den Schatten hinein, in welchem er früher, wegen Ueberbietung durch das Tageslicht unmerklich war, ergiebt sich nach Fechner aus folgender Abänderung dieses Versuches. Man bedecke die eine beider Oeffnungen durch ein Farbenglas und schließe die andere ganz. Der einfache Schatten, welchen jetzt das Farbenglas giebt, zeigt immer noch etwas von der durch den Contrast mit der umgebenden Farbenbeleuchtung geforderten Nüance, obschon viel undeutlicher, als wenn man eine angemessene Menge Tageslicht zuläßt. Betrachtet man aber jetzt diesen Schatten durch die geschwärzte Röhre, so nimmt er sogleich deutlich die Tinte des Farbenglases selbst an, und dies ist auch dann der Fall, wenn man die Röhre eher vor das Auge nimmt, als man die Oeffnung mit dem Farbenglase verdeckt. Man erkennt ferner, während des Hinblicks auf diesen Schatten durch die Röhre richtig die Farbe der Gläser, womit ein Anderer die Oeffnung wechselnd verdeckt. Diese Farbe trägt demnach ganz den Charakter einer objectiven. Wenn aber, während man durch die Röhre auf den eigentlich objectiven Schatten blickt, die Farbenöffnung ganz geschlossen wird, so geht die Farbe des Schattens ebenso wie beim Wegnehmen des Farbenglases, obwohl unter starker Verdunkelung, in die complementäre über.

Hierher gehören auch die blauen Schatten, welche zur Zeit der Dämmerung in einem Zimmer entstehen, in welchem sich eine brennende Kerze befindet, während zugleich das Himmelslicht hineinfällt. Stellt man einen Stab so, daß er einen Schatten im Kerzenlichte, einen anderen im Tageslichte auf eine weiße Fläche wirft, so erscheint jener blau, dieser gelb. Diese blauen Schatten, welche auch öfter im Freien wahrgenommen werden, wenn die Sonne in der Nähe des Horizonts steht, betrachten Manche als wirklich objectiv gefärbt, da dieselben ihre Färbung durch das Tageslicht erhielten, das an und für sich blau sei. Durch ihren Gegensatz gegen das Kerzenlicht soll dann diese blaue Färbung merklich erhöht werden. Die objective Beschaffenheit solcher blauen Schatten ist namentlich von Pohlmann *) vertheidigt, der gleichfalls über die farbigen Schatten viele Versuche angestellt und darauf eine Theorie dieser Erscheinungen gegründet hat, die mit der oben aufgestellten älteren Ansicht der subjectiven Farbenphänomene in den wesentlichsten Momenten übereinstimmt. Pohlmann stützt sich bezüglich der objectiven Färbung der blauen Schatten besonders auch auf einen Versuch, nach welchem der durch das Himmelslicht unter Mitwirkung einer Kerze erzeugte Schatten blau bleibt, auch wenn man ihn durch ein geschwärztes Rohr betrachtet. Fechner **), der die Pohlmann'schen Versuche wiederholte und abänderte, erzeugte bei hellblauem Himmel einen schönen blauen Schatten durch die eine Oeffnung seines finsteren

*) Poggend. Ann. Bd. XXXVII. S. 319.

**) Poggend. Ann. Bd. XLIV. S. 236 ff.

Zimmers und durch eine in das Zimmer gestellte Kerze. Als er nun durch das geschwärzte Rohr auf den Schatten sah, nachdem er ihn zuvor mit bloßem Auge betrachtet hatte, schien ihm allerdings das Blau noch fortzubestehen. Wenn er aber die Röhre, während die Kerze verdeckt war, vor das Auge nahm und sie auf den nun grau erscheinenden Schatten richtete, den die Oeffnung warf, so nahm dieser, als die Kerze aufgedeckt wurde, statt einer blauen vielmehr eine unverkennbar rothgelbe Nüance an, die erst, wenn die Röhre vom Auge genommen, oder auf die gemeinschaftliche Grenze beider Schatten gerichtet ward, so daß das Auge vom rothgelben directen Licht der Kerze mit afficirt werden konnte, sich in Blau verwandelte. (Die Entstehung dieses Rothgelb erklärt sich durch das von den Wänden des Zimmers zerstreute Licht der Kerze). Aus diesem Versuche folgt also, daß unter diesen Umständen das objective Himmelsblau gar keinen Antheil an der Erscheinung hat, mithin die Erscheinung des blauen Schattens subjectiver Natur ist. Doch wird von Fechner keineswegs geläugnet, daß in dem Falle, wo wirklich blaues Licht den einen von zwei Schatten beleuchtet, dieses Blau auch einen objectiven Antheil an seiner Färbung haben könne. Seine gegen Pohlmann angeführten Versuche sollen auch nur beweisen, daß, wenn das Himmelslicht mit Kerzenlicht zusammenwirke, die Erzeugung des blauen Schattens hauptsächlich vom letzteren, als dem überwiegend gefärbten, ausgehe.

Dagegen kann, allerdings, wie Pohlmann gezeigt, das Blau des Himmels Anlaß geben zur Entstehung eines complementär gefärbten Schattens. Läßt man nämlich am hellen Tage in einem Zimmer, das aus einer heiteren Himmelsgegend Licht erhält, gegen eine weiße Fläche einen Schatten fallen, so wird dieser, wenn weißes Tageslicht in denselben gelangen kann, gelb erscheinen. Da aber die Intensitäten beider Lichtgattungen in dem gehörigen Verhältniß stehen müssen, so wird der Versuch nicht an jeder Stelle des Zimmers gelingen, namentlich da nicht, wo directes Sonnenlicht in den Schatten fällt.. Daher findet man auch an heiteren Tagen in Zimmern, die gegen die Sonnenseite liegen, die Schatten auf einer weiß getünchten Wand gelb. Ebenso kann man an heiteren Tagen leicht zwei Schatten, einen gelben und einen blauen, neben einander erhalten, wenn man das durch zwei Fenster eines Zimmers aus ungleich erhellten Himmelsgegenden kommende Licht auf einen Schatten werfenden Körper vor einer weißen Fläche fallen läßt. Der gelbe subjectiv gefärbte Schatten wird alsdann derjenige sein, der von der helleren, der blaue, der von der dunkleren Gegend aus erleuchtet wird. Fechner wiederholte auch diese Versuche mit Hülfe seiner beiden Oeffnungen im Laden des finsteren Zimmers. War eine Seite des Himmels blau, die andere mit weißlichem Lichte bedeckt, so zeigte sich der Schatten, den die auf ersterer Seite befindliche Oeffnung beleuchtete, entschieden blau, der andere entschieden gelb.

Die complementär gefärbten Schatten stellt man auch bequem dar, indem man Lichtstrahlen durch ein farbiges Glas auf eine weiße Fläche fallen läßt, wo dann diese natürlich in der Farbe des Glases erscheint, und nun gerade zwischen dem Glase und der von ihm beleuchteten weißen Fläche einen schmalen, undurchsichtigen Stab aufstellt. Der letztere wirft dann auf die weiße Fläche einen Schatten, welcher durch das ringsum verbreitete weiße Tageslicht erhellt ist, und der stets complementär zur Farbe des Glases erscheint, also grün, wenn das Glas roth ist ꝛc.

Verschiedene andere subjective Lichterscheinungen, darunter das sogenannte Abklingen der Farben, werden ihre passende Stelle im Artikel Sehen finden.

Farbendreieck, s. Farbe.

Farben dünner Blättchen, s. Farbenringe.

Farben dicker Platten, s. Farbenringe.

Farbenkreisel, s. Farbe.

Farbenkugel, s. Farbe.

Farbenringe Newtons (lat. annuli colorati; franz. anneaux colorés; engl. Newton's rings, coloured rings) sind im Allgemeinen alle jene Farben, die jedesmal da sichtbar werden, wo das Licht aus einem Mittel in ein anderes von sehr geringer Tiefe und aus diesem wieder in das erste oder in ein von demselben verschiedenes übergeht.

A. 1) Vor Newton hatte sich schon Boyle *) mit diesen Farbenerscheinungen beschäftigt und namentlich fest gestellt, daß die von flüssigen Lamellen reflectirten Farben von der chemischen Beschaffenheit der Flüssigkeiten nicht abhängen können; ebenso hatte auch Hooke **) vor Newton hierher gehörige Untersuchungen angestellt. Ihm gebührt die Entdeckung, daß die Farben, welche durch eine dünne Luftschicht zwischen zwei Glaslinsen entstehen, sich in regelmäßigen Ringen an einander reihen, auch machte er zuerst darauf aufmerksam, daß ein Glimmerblättchen von überall gleicher Dicke eine und dieselbe reflectirte Farbe, zwei Glimmerblättchen von verschiedener Dicke aber verschiedene Farben entwickeln, daß also die Entstehung dieser Farbenerscheinungen von der Tiefe der Lamellen abhängen müsse. Newton ***), nach welchem diese Phänomene benannt werden, führte zuerst sorgfältige Messungen aus und bediente sich auch zuerst zur Untersuchung des homogenen Lichtes, eine Methode, durch welche allein der richtige Aufschluß gewonnen werden konnte.

2) Die Erscheinung zeigte sich Newton in folgender Weise ****): Er nahm zwei Objectivlinsen, die eine planconvex, zu einem 14füßigen Fernrohre gehörig, und die andere biconvex aus einem Fernrohre von ungefähr 50 Fuß. Nachdem er nun auf das biconvexe Glas das andere mit der ebenen Fläche aufgelegt hatte, drückte er beide mehr oder weniger an einander. Was er hierbei beobachtete, beschreibt er mit folgenden Worten. „Nach dem durchsichtigen Fleck in der Mitte, der sich am Berührungspunkte beider Gläser bildete, kam Blau, Weiß, Gelb und Roth. Des Blaus war so wenig vorhanden, daß ich es in den durch die Prismen *****) hervorgebrachten Ringen nicht zu unterscheiden vermochte; ebenso wenig konnte ich Violett darin erkennen; das Gelb und Roth aber

---

*) Boyle, Experiments and Considerations touching colours. London 1663; auch in der Ausgabe der Opera omnia. Venet. 1697. p. 965.

**) Hooke, Micrographia 1665. a Birch's history of the royal society T. III. p. 29. u. Micrographia. London 1667. p. 53.

***) Newton, Optice: sive de Reflexionibus, refractionibus, inflexionibus et coloribus lucis libri tres. Lib. 2.

****) Observat. 4.

*****) in der Observ. 1, 2 und 3 hatte N. mit auf einander gelegten Prismen experimentirt.

waren ziemlich reichlich vorhanden, und sie nahmen zusammen ungefähr so viel Platz als das Weiß und vier- bis fünfmal so viel als das Blau ein. Unmittelbar auf diese erste Reihe folgte eine andere, worin man Violett, Blau, Grün, Gelb und Roth unterschied. Alle diese Farben waren reichlich und lebhaft, ausgenommen das Grün, welches nur in sehr geringer Quantität vorhanden war und weit blasser und schwächer als die übrigen erschien. Das Violett nahm weniger Raum ein, als jede der vier anderen Farben, und das Blau weniger, als das Gelb und Roth. Die dritte Farbenreihe war Purpur, Blau, Grün, Gelb und Roth: der Purpur erschien hier röthlicher als das Violett der vorigen Reihe und das Grün zeigte sich weit sichtbarer, indem es ebenso lebhaft und in ebenso großer Quantität vorhanden war, als jede der anderen Farben, das Gelb ausgenommen; das Roth aber fing an, etwas unscheinbar zu werden, indem es sich ausnehmend in das Purpurfarbene zog. Hierauf folgte die vierte Reihe, bestehend aus Grün und Roth; das Grün war sehr reichlich und lebhaft und zog sich auf der einen Seite ins Blaue, auf der anderen ins Gelb; aber weder Violett, noch Blau, noch Gelb war in dieser Reihe vorhanden, und das Roth erschien unvollkommen. Die Farben, welche auf diese folgten, wurden immer schwächer und unentschiedener, bis sie nach drei- und viermaliger Wiederkehr allmälig in Weiß übergingen. In beistehender Figur sind durch die Folge der Buchstaben des Alphabets die verschiedenen Plätze angegeben, welche sämmtliche Farben einnahmen,



wenn die Gläser gegen einander gedrückt wurden, so daß sie alle zugleich mit dem schwarzen Fleck in ihrer Mitte erschienen. In diesem Falle war ihre Reihenfolge von dieser Mitte aus folgende: Schwarz, Blau, Weiß, Gelb, Roth; Violett, Blau, Grün, Gelb, Roth; Purpur, Blau, Grün, Gelb, Roth; Grün, Roth; Grünlichblau, Roth; Grünlichblau, blaßroth; Grünlichblau, röthlichweiß." Jede dieser Folgen von Farben bildet einen zusammengesetzten Ring, eine Ordnung, die Ringe der verschiedenen Ordnungen scheiden sich durch Dunklerwerden der Farben von einander ab.

3) Es gehören übrigens hier nicht blos diese von Newton vorzugsweise beobachteten Farbenerscheinungen, welche in einer dünnen Luft- oder Wasserschicht zwischen zwei Glaslinsen entstehen, sondern es sind hierher, worauf sich der Ein-

gang dieses Artikels bezieht, auch die Farben zu rechnen, welche man zwischen einer Glaslinse und jedem anderen spiegelnden festen Körper z. B. einem Metallspiegel bemerkt; ferner die Farben des polirten Stahls, wenn sich auf demselben in einer hohen Temperatur dünne Häutchen durch Oxydation gebildet haben, oder die der Fensterscheiben, wenn sie sich bei starker Kälte der äußeren Luft im wärmeren Zimmer mit einer sehr dünnen Eisschicht zu belegen anfangen, so wie die lebhaften Farben, die man beim Anhauchen des polirten Glases, oder an den Sprüngen zerbrochener Gläser; zwischen Blättchen des isländischen Krystalls, des Glimmers oder Gipses, an Seifenblasen, an Collodionhäutchen, an einem auf Wasser ausgebreiteten Oeltropfen und in vielen anderen Fällen wahrnimmt.

4) Eine einfache Vorrichtung zur Darstellung der Newton'schen Ringe hat Ritchie angegeben:

Man nehme zwei Scheiben von dünnem Tafelglase, etwa 6 bis 8 Zoll im Durchmesser haltend, und vergolde die eine auf einer Seite ringsum einen Viertelzoll breit, vom Rande gerechnet, durch einfach aufgelegtes Blattgold; dann lege man die Platten so auf einander, daß der Goldring dazwischen kommt und presse sie nun in der Mitte gegen einander mittelst einer Schraube, die einem Stifte gegen über in einem um die Platten geschobenen Rahmen von Eisen oder Messing angebracht ist. Dadurch kommen die Platten in der Mitte zu gegenseitiger Berührung, während sie am Rande ringsum nur durch die Dicke eines Goldblattes getrennt bleiben. Man hat also zwei Kugelflächen von sehr großem Radius und muß demnach bei etwas schief einfallendem Lichte die Ringe in großer Vollkommenheit sehen.

Da das Spiegelglas selten vollkommen eben ist, so gelingt dies auch schon mit zwei solchen Platten, wenn man sie ohne Weiteres über einander legt und mit den Fingern an einander preßt, wobei man zweckmäßig durch an dem Rande angebrachte Feilstriche sich die Lage der Platten merkt, bei welcher der Versuch am leichtesten gelingt.

Zur bequemeren Darstellung der Newton'schen Ringe hat übrigens Jerichau in Schweden die erste zweckmäßige Vorrichtung angegeben und Gyreidoskop (v. d. griech. γῦρος, Kreis, εἶδος, Gestalt und σκοπέω ich sehe) genannt **); eine wesentliche Verbesserung dieses Instrumentes, wodurch dasselbe nicht nur zur Hervorbringung der Farbenringe, sondern auch zu den nöthigen Messungen geschickt gemacht worden ist, rührt von E. Wilde ***) her und ist von demselben Gyreidometer benannt worden.

Wegen der Zweckmäßigkeit dieses Instrumentes lassen wir die Beschreibung desselben folgen:

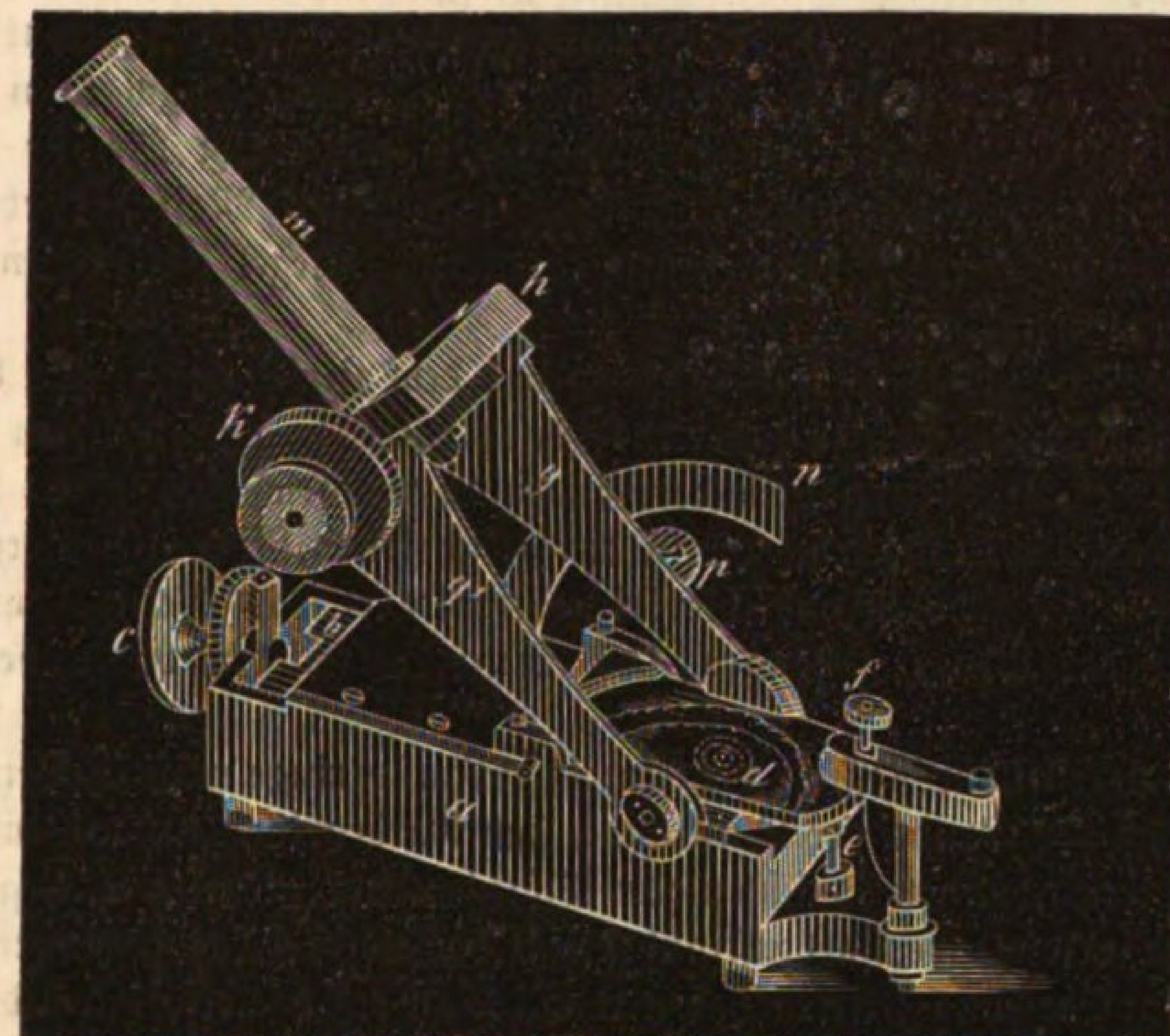
Es besteht das Gyreidometer 1) aus der Messingplatte (s. umstehende Figur) a, in der sich ein Schlitten b befindet, der mittelst der Mikrometerschraube c bewegt werden kann; 2) aus einer Convexlinse, die durch Schrauben an diesem Schlitten befestigt ist; 3) aus dem planparallelen, über dieser Convexlinse liegenden Glase d, das unter einem kleinen Winkel gegen die horizontale Bahn der Linse

*) Ritchie in Mag. Ser. III. T. X. p. 183 und Poggend. Ann. Bd. XLII. S. 176.

**) Poggend. Ann. Bd. LVI. S. 139.

***) Poggend. Ann. Bd. LXXXI. S. 264.

geneigt ist, und in dieser Neigung durch die Unterlage e und die Schraube f festgehalten wird, die mittelst einer Feder, durch welche sie geht, bei einem stärkeren Zusammenpressen der Gläser ein wenig nachgiebt, damit das Planparallelglas



nicht zerbrochen werde; 4) aus den beiden, in Verticalebenen drehbaren Ständern g und g', welche die Messingplatte h tragen, in der sich ein zweiter Schlitten befindet, der gleichfalls durch eine Mikrometerschraube k bewegt werden kann; 5) aus dem Mikroskope m, das an diesem Schlitten befestigt ist, und um dessen Axe sich die ganze Platte h herumdrehen läßt; endlich 6) aus dem in Viertelgrade getheilten Bogen n, an dem sich ein Nonius fortschiebt, der durch die Schraube p an den Ständer g befestigt werden kann. Damit man im Stande sei, die Einfalls- und Reflexionswinkel der Lichtstrahlen bis auf Minuten zu messen, sind 14 Theile des Bogens n auf diesem Nonius in 15 getheilt. Der ganze Apparat mit Einschluß des Mikroskops darf nur etwa 7 Zoll lang, ebenso hoch und $2^3/_4$ Zoll breit sein.

Der Nullpunkt des Bogens n und die Neigung des Planglases gegen die Bahn des unteren Schlittens b sind durch Reflexion bestimmt. Bei der unteren Mikrometerschraube c, deren Kopf an seinem Umfange in 100 Theile getheilt ist, sind 100 Umdrehungen auf einen englischen Zoll genommen. Durch jeden Theil des Kopfes wird also die Bewegung des Schlittens auf 0,0001 Zoll bestimmt, und durch diese Verschiebung des Schlittens eine Annäherung beider Gläser von 0,000001 Zoll angegeben. Dies letzte Verhältniß wird dadurch erreicht, daß die Neigung des Planglases gegen die Bahn des unteren Schlittens $34^1/_2$ Minute beträgt, mit Rücksicht darauf, daß tan. $34'^1/_2 = 0{,}01$ ist.

Ebenso sind bei der Mikrometerschraube k des oberen Schlittens 100 Umgänge auf einen englischen Zoll genommen, so daß man, da der Kopf dieser Schraube gleichfalls in 100 Theile getheilt ist, die Durchmesser der Ringe vermittelst des feinen Haars, das in der Mitte des Gesichtsfeldes im Mikroskope ausge-

spannt ist und bei der Umdrehung der Mikrometerschraube k längs der Ringdurchmesser fortgeht, bis auf 0,0001 Zoll messen, und bis auf 0,00001 Zoll mit ziemlicher Sicherheit schätzen kann.

Werden die Grundfläche der unteren Messingplatte a und der untere Schlitten b da, wo die Convexlinse liegt, durchbrochen, so ist das Instrument auch zur Beobachtung der durchgelassenen Ringe geeignet. Auch kann man mit demselben die Ringe messen, die zwischen Glas und einem Metalle oder zwischen Glas und jeder anderen undurchsichtigen und starren Masse entstehen, wenn man das untere Convexglas durch einen convexen Spiegel aus diesen undurchsichtigen Körpern ersetzt.

5) Newton führte seine Messungen mit dem Zirkel aus. Zu bewundern ist es daher um so mehr, daß er dabei das Gesetz entdeckte, nach welchem die Ringhalbmesser von der Berührungsstelle der Gläser an wachsen; aus seinen Messungen berechnete er dann die Lufttiefen, die zu den gleichvielten Ringen der verschiedenen prismatischen Farben gehören und hierbei ermittelte er das Gesetz, von welchem die Halbmesser der Ringe abhängen, die durch verschieden brechende Lamellen entstehen.

Bei der angestellten Messung der einzelnen Farbenringe muß in Betracht gezogen werden, daß der Grund der Entstehung der Farbenringe in den zwischen den Gläsern befindlichen dünnen Schichten oder Plättchen Luft, Wasser ꝛc. liege, daß also jeder ins Auge gelangende Farbenstrahl durch das obere Glas gegangen, folglich durch dieses eine Brechung erlitten haben muß. Man erfährt also durch die Messung nicht unmittelbar den wahren Durchmesser eines Ringes, sondern um diesen zu erfahren, muß wegen der Brechung durch das Glas an der unmittelbar gemessenen Größenbestimmung eine Correction angebracht werden. Bezeichnen wir den scheinbaren, durch Messungen gefundenen Halbmesser eines Farbenringes mit r', mit c die Dicke des oberen Glases, mit a die Entfernung des beobachtenden Auges vom oberen Glase, mit n den Brechungsexponenten, so wird der wahre Durchmesser des Farbenringes r gefunden durch Berechnung der Formel

$$r = r'\left(1 + \frac{c}{a\,n}\right).$$

Es ist hierbei zu bemerken, daß, so lange bei demselben Glase das Auge seinen Platz nicht verändert, die scheinbaren Durchmesser der Ringe dieselben Gesetze, wie die wahren befolgen.

6) Newton hat gefunden *), daß die Quadrate der Halbmesser der hellsten reflectirten farbigen Kreise wie die ungeraden Zahlen wachsen und die der dunkelen, zwischen jenen hellen liegenden, wie die geraden Zahlen; hieraus folgt, wie die Rechnung lehrt, daß auch die Dicken der Stellen im dünnen Plättchen, wo diese Farbenkreise entstehen, wie die ungeraden Zahlen zunehmen **). Hiervon ist dann eine natürliche Folge, daß diese Ringe immer näher an einander rücken, je weiter sie sich von dem Mittelpunkte entfernen, denn die Quadratwurzeln der ungeraden Zahlen, welche den Durchmessern dieser Ringe proportional sind, bilden eine Reihe, deren Differenzen desto kleiner werden je größer die Zahlen sind. Zur Veranschaulichung diene folgendes Beispiel:

*) Observ. 5.
**) Observ. 7.

Quadrate der Durchmesser	Durchmesser	Differenz
1	1,00000	
		0,73205
3	1,73205	
		0,50402
5	2,23607	
		0,40968
7	2,64575	
		0,35425
9	3,00000	
		0,31663
11	3,31663	
		0,28892
13	3,60555	
		0,26743
15	3,87298	

Newton bediente sich z. B. einmal bei seinen Beobachtungen zu Auffindung der absoluten Größe der Dicke der einzelnen Ringe einer biconvexen Linse von 83,4 Zoll Brennweite *) aus einer Glasmasse, deren Brechungsexponent $\frac{17}{11}$ war, und deren Dicke $^1/_6$ Zoll betrug. Diese Linse lag auf einem Planglase und während sein Auge fast senkrecht darüber in einem verticalen Abstande von 8—9 (also etwa $8^1/_2$) Zoll sich befand, maß Newton den fünften dunklen Ring an seiner dunkelsten Stelle. Er fand den Durchmesser desselben $^1/_5$ Zoll. Nach der oben angegebenen Formel $r = r'\left(1 + \frac{c}{a\,n}\right)$ findet sich nun, da angegebener Maßen $r' = {^1/_{10}}$ Z. $c = {^1/_6}$ Z. $a = 8^1/_2$ Z. und $n = \frac{17}{11}$ ist;

$$r = \frac{1}{10}\left(1 + \frac{^1/_6}{8^1/_2 \cdot \frac{17}{11}}\right) = \frac{1}{10}\left(1 + \frac{1}{79}\right) = \frac{8}{79} \text{ Zoll.}$$

Wenn nun ein convexes Glas auf ein ebenes gelegt wird, so ist die Dicke der Luftschicht oder der Abstand der Gläser im Umkreise irgend eines Ringes gleich dem Quadrate des halben Durchmessers des Ringes, dividirt durch den Durchmesser der Kugel, nach welcher das Glas gearbeitet ist. Man erhält hiernach $\frac{64}{1135862}$ oder $\frac{1}{17747,84}$ Theile eines Zolles. Wenn die Dicke der Luftschicht nach den geraden Zahlen zunimmt, so entspricht dem fünften Ringe in der Zahlenreihe 0, 2, 4, 8, 10 . . . die Zahl 10 und man erhält, also die Dicke z. B. für den ersten Ring, da diesem die Zahl 2 zukommt $= \frac{1}{5.17747,84} = \frac{1}{88739}$ eines Zolles. Newton fand durch Messung $\frac{1}{88850}$.

7) Bei diesen Messungen befand sich das beobachtende Auge zwar sehr nahe an der verticalen Linie über der Linse, aber doch nicht genau in dieser, und es konnte daher der Ring nicht in seiner wirklichen Größe erscheinen, indem die scheinbare Größe von dem Winkel abhängt, unter welchem die ins Auge gelangenden

*) Observ. 6.

Strahlen reflectirt werden. Nach Newton's Angabe betrug bei der von ihm angestellten Messung dieser Winkel etwa 4 Grad. Um nun aus der angegebenen Messung die Größe des Ringes bei einer vollkommenen senkrechten Stellung des Auges ableiten zu können, mußte Newton den Einfluß der Schiefe der Gesichtsstrahlen überhaupt kennen lernen und darum mehrere Messungen desselben Ringes bei einer verschiedenen Lage des Auges vornehmen. So erhielt er nachstehende Resultate *).

Einfallswinkel an der zweiten Glasfläche		Austrittswinkel in die Luft	Durchmesser des Ringes	Dicke der Luftschicht
0°	0′	0°	10	10
6	26	10	$10\frac{1}{13}$	$10\frac{2}{13}$
12	45	20	$10\frac{1}{3}$	$10\frac{2}{3}$
18	49	30	$10\frac{3}{4}$	$11\frac{1}{2}$
24	30	40	$11\frac{2}{5}$	13
29	37	50	$12\frac{1}{2}$	$15\frac{1}{2}$
33	58	60	14	20
35	47	65	$15\frac{1}{4}$	$23\frac{1}{4}$
37	19	70	$16\frac{4}{5}$	$28\frac{1}{4}$
38	33	75	$19\frac{1}{4}$	37
39	27	80	$22\frac{6}{7}$	$52\frac{1}{4}$
40	00	85	29	$84\frac{1}{10}$
40	11	90	35	$122\frac{1}{2}$

Die dritte Spalte dieser Tabelle drückt die Durchmesser aus, welche derselbe Ring erhält, je nachdem er unter verschiedenen Schiefen erblickt wird, wobei sein Durchmesser bei dem senkrechten Einfallen durch 10 dargestellt ist; die vierte Spalte, welche die Quadrate der dritten dividirt durch 10 enthält, giebt die Dicken der Luftschicht an, von welcher successiv dieser nämliche Ring unter den verschiedenen Schiefen zurückgeworfen wird, wenn man 10 für die Dicke setzt, in welcher er bei dem senkrechten Einfallen durch Zurückwerfung erscheint. Diese Tabelle gilt für alle Ringe gemeinschaftlich, welches auch ihr Abstand vom Centralflecke sein mag, denn vermöge einer sehr bemerkenswerthen Eigenschaft ist das Verhältniß, nach welchem der Durchmesser jedes Ringes wächst, unabhängig von der Stelle, die er in der Reihenfolge einnimmt, so wie von der Farbe, die er zurückwirft. Aus der Tabelle erhellt, daß die Dicke, von welcher die nämliche Farbe zurückgeworfen wird, immer mehr mit der Schiefe der einfallenden Strahlen zunimmt, mithin wird, wenn man einen und denselben Punkt der Luftschicht successiv unter verschiedenen Breiten betrachtet, dieser Punkt durch solche Farben schreiten, welche vorher von geringeren Dicken zurückgeworfen waren. Man kann sonach sagen, daß durch schieferes Einfallen der Strahlen auf die Luftschicht dieselbe Wirkung hervorgebracht wird, als wenn diese Schicht dünner würde.

*) Observ. 7.

Wenn nun oben aus einer Messung für den ersten Ring $\frac{1}{88850}$ sich ergab und aus der für den fünften Ring gemachten Messung $\frac{1}{88739}$ berechnet wurde, wobei das Auge keine völlig senkrechte Stellung einnahm; so würde es, um diese Dicken für den senkrechten Einfall der Strahlen zu bestimmen, bei dem oben angegebenem Austrittswinkel von 4 Grad genügen die gefundenen Größen mit $\frac{10000}{10024}$ zu multipliciren. Man erhält dann als corrigirte Werthe $\frac{1}{89063}$ und $\frac{1}{88952}$ und hieraus als Mittel $\frac{1}{89000}$, bei welcher Bestimmung auch Newton stehen geblieben ist.

Berechnen wir hieraus die Dicken der einzelnen Schichten, so müssen wir davon ausgehen, daß dem ersten Ringe die Zahl 2 entspricht; der erste lichte Ring in seiner hellsten Stelle hat zum Ausdrucke 1, also beträgt die Dicke der Luftschicht für diesen Ring $\frac{1}{178000}$. Wir erhalten also als Werthe für die Dicken der Luftschichten

a) für die hellsten Stellen der farbigen reflectirten Ringe:

$$\frac{1}{178000}, \frac{3}{178000}, \frac{5}{178000} \text{ etc.}$$

b) für die dunkelen Ringe:

$$\frac{2}{178000}, \frac{4}{178000}, \frac{6}{178000} \text{ etc.}$$

Diese Dicken beziehen sich auf ein Luftplättchen (Luftschicht); für jedes andere Medium müssen sie im umgekehrten Verhältnisse der Brechungsexponenten in diesem Mittel und der Luft vermindert werden *).

8) Newton **) giebt nachstehende Tabelle über die Dicke eines Plättchens aus Luft, Wasser und Glas, in Milliontheilchen eines englischen Zolles für die reflectirten Strahlen nach der Ordnung, wie sie im vollen Lichte erscheinen.

---

*) Siehe Artikel Brechung des Lichtes. Bd. I. S. 884.

**) Optic. lib. II. pars II.

Ordnungszahl des Ringes	Zurückgeworfene Farben	Dicke der Schichten in Milliontheilen des engl Zolles			Nähere Bezeichnung der Farben nach Biot
		Luft	Wasser	Glas	
1ster	Sehr schwarz . .	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$	
	Schwarz . . .	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$	
	Schwärzlich . .	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$	
	Blau	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$	Weißliches Himmelblau.
	Weiß	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{5}$	Mattes Silberweiß.
	Gelb	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$	Strohgelb.
	Orange. . . .	8	6	$5\frac{1}{6}$	Getrockn. Orangenschale.
	Roth	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{5}$	Geranium sanguineum.
2ter	Violett	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{5}$	Jodine.
	Indigo	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{5}{8}$	$8\frac{2}{11}$	Indigo.
	Blau	14	$10\frac{1}{2}$	9	Kobaltblau.
	Grün	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{1}{3}$	$9\frac{5}{7}$	Meergrün..
	Gelb	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{2}{5}$	Citronengelb.
	Orange . . .	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$	Orange.
	Helleres Roth . .	$18\frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$	(oeilleits de mai).
	Ponceauroth . .	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$	Blutroth.
3ter	Purpur . . .	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$	Flachsblüthe.
	Indigo	$22\frac{1}{10}$	$16\frac{4}{7}$	$14\frac{1}{4}$	Indigo.
	Blau	$23\frac{2}{5}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$	Berlinerblau.
	Grün	$25\frac{1}{5}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$	Grasgrün.
	Gelb	$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$	Weißlichgelb; Holzweiß.
	Roth	29	$21\frac{3}{4}$	$18\frac{5}{7}$	Rosenroth.
	Bläulichroth . .	32	24	$20\frac{2}{3}$	Mehr Purpurroth.
4ter	Bläulichgrün . .	34	$25\frac{1}{2}$	22	
	Grün	$35\frac{2}{7}$	$26\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$	Smaragdgrün.
	Gelblichgrün . .	36	27	$23\frac{2}{9}$	
	Roth	$40\frac{1}{3}$	$30\frac{1}{4}$	26	Blaßroth.
5ter	Grünlichblau . .	46	$34\frac{1}{2}$	$29\frac{2}{3}$	Meergrün.
	Roth	$52\frac{1}{2}$	$39\frac{3}{8}$	34	Blaßrosenroth.
6ter	Grünlichblau . .	$58\frac{3}{4}$	44	38	Lichtes Meergrün.
	Roth	65	$48\frac{3}{4}$	42	Noch blässeres Rosenroth.
7ter	Grünlichblau . .	71	$53\frac{1}{4}$	$45\frac{4}{5}$	Sehr blaß.
	Röthlichweiß . .	77	$57\frac{3}{4}$	$49\frac{2}{3}$	Sehr blaß.

9) Die in den Newton'schen Farbenringen erscheinenden Farben sind die Mischungsfarben aus den verschiedenen einfarbigen Farbenringen, welche man erhält, wenn man nicht weißes, sondern homogenes (einfarbiges) Licht auf den Newton'schen Apparat (des dünnen Plättchens Luft ꝛc. zwischen zwei Gläsern) fallen läßt. Newton *) zerlegte einen Strahl weißen Lichtes durch das Prisma

*) Observ. 12.

in seine verschiedenen einfarbigen Strahlen, ließ sie nach einander auf ein Blatt weißen Papiers fallen, welches sie durch strahlende Zurückwerfung nach allen Seiten zurücksendete, und brachte sein Auge in eine solche Lage, daß er das gefärbte Papier durch Zurückwerfung von den Gläsern und der dazwischen befindlichen Luftschicht zu erblicken vermochte. Auch kann man vor die Spalte im Heliostat ein reines Stückchen Glas von passender Farbe oder ein mit einer solchen gefülltes Fläschchen mit möglichst reinen und parallelen Wänden hängen. Sehr bequem ist es, wenn der Heliostat auch auf der äußeren Seite Schiebleisten hat, zu welchen ein paar Schieber passen, welche mit farbigen Gläsern versehen sind. Eine vorzügliche blaue Flüssigkeit ist das schwefelsaure Kupferoxydammoniak. Man versetzt Kupfervitriollösung mit Salmiakgeist, bis der grünlich blaue Niederschlag wieder vollkommen gelöst ist. Die Flüssigkeit bleibt in einem verkorkten Fläschchen Jahre lang gut, nur setzt sich mit der Zeit ein Niederschlag ab, den man vor dem Versuche jedoch nicht aufrütteln darf. Reibt man den Docht einer Weingeistlampe mit Kochsalz, so wird die Weingeistflamme ziemlich homogen gelb gefärbt; eigentlich ist dies zwar eine Mischung von Gelb und Violett, also mehr orangefarben als gelb, doch homogen genug, um immer dunkle und gleichfarbige Ringe erscheinen zu lassen.

Im homogenen Lichte zeigten sich Ringe, aber einfarbige und zwar von der Farbe, welche dem darauf geworfenen Strahle eigen war. Die Ringe waren durch dunkle Zwischenräume getrennt, welche um so kleiner wurden, je weiter sich die Ringe vom Mittelpunkte entfernten. Dabei war der Durchmesser eines Ringes bei dem einen Lichte um so kleiner, als der Durchmesser des ebensovielten Ringes bei einem anderen Lichte, je größer die Brechbarkeit des ersten Lichtes im Verhältniß zu der des zweiten war, so daß also z. B. der vierte Ring im rothen Lichte größer, als der vierte im gelben oder grünen war *). In jedem Strahle waren die Ringe am kleinsten, wenn das Licht senkrecht durch die Luftschicht ging, und wurde um so größer, je schiefer der Strahl einfiel. Jeder einzelne Ring hatte eine meßbare Breite, die Lichtstärke war aber in der Mitte des Ringes am stärksten und verlor sich von da aus nach den Rändern desselben. Bei jeder Lichtgattung nahmen die Quadrate der Halbmesser der reflectirten Farbenringe, vom hellsten Punkte an gerechnet, zu, wie die ungeraden Zahlen: 1, 3, 5, 7 ...., während die Quadrate der Halbmesser der dunklen Zwischenräume wie die geraden Zahlen: 2, 4, 6, 8 ... wuchsen.

10) Bei den Messungen, welche Newton bei diesen Untersuchungen ausführte, fand er **) noch eine bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit. Er maß die Durchmesser der einfachen Ringe der nämlichen Ordnung am innern und äußern Theile ihres Umfangs, indem er diese Ringe successiv durch Strahlen, welche an den Grenzen der verschiedenen Farben im Spectrum (prismatischen Sonnenbilde) liegen, hervorbrachte, mit den äußersten violetten den Anfang machend, d. h. er brachte erst blos durch die äußersten violetten Strahlen Ringe hervor, und wenn er dann von diesen z. B. den dritten gemessen hatte, so maß er dann auch den dritten der Ringe, welche er durch die äußersten indigfarbenen Strahlen hervorgebracht hatte u. s. f. Hierbei fand er nun (wobei jedoch seine Vorliebe, Farben und Töne mit einander zu vergleichen, nicht ohne Einfluß auf die, ohnehin keine

*) Observ. 13.
**) Observ. 14.

absolute Genauigkeit zulassende, Messung sein mochte *), daß die Durchmesser, sowohl innere als äußere, unter einander sich zu verhalten schienen, wie die Cubicwurzeln der Zahlen

$$1/2,\ 9/10,\ 3/5,\ 2/3,\ 3/4,\ 5/6,\ 8/9,\ 1,$$

welche Zahlen die Längen ausdrücken, die eine Musiksaite haben muß, um die Töne der Molltonleiter hervorzubringen; d. h. wenn man durch 1 den inneren Durchmesser eines gewissen Ringes ausdrückt, der durch die an den äußersten Grenzen des Spectrums liegenden rothen Strahlen hervorgebracht wird, so drückt $\sqrt[3]{8/9}$ den inneren Durchmesser des nämlichen Ringes aus, wenn er von den Strahlen gebildet wird, welche die Grenze des Roth und Orange sind u. s. f. bis $\sqrt[3]{1/2}$, welches den inneren Durchmesser des nämlichen Ringes ausdrückt, wenn er durch die letzten violetten am anderen Ende des Spectrums genommenen Strahlen gebildet wird.

11) Um ferner die Verhältnisse der Dicken, welche die Luftschicht (das Luftblättchen) am Anfang und am Ende der beobachteten Ringe haben mußte, kennen zu lernen, braucht man nur die bekannten Verhältnisse der Durchmesser ins Quadrat zu erheben, da die Dicken den Quadraten der Durchmesser proportional sind (s. oben 6.). Aehnliche Messungen an den auf einander folgenden Ringen, welche von ein und derselben einfachen Farbe hervorgebracht waren, vorgenommen, zeigten Newton, daß in den Zwischenräumen, wo die Zurückwerfung erfolgte, die Dicke sich merklich um so viel abstufte, als in denen, wo das Licht durchging, so daß, wenn man allgemein durch e_x die Dicke der Luftschicht zu Anfang des ersten hellen, von irgend einer Art einfachen Lichts gebildeten, Ringes bezeichnet, dieser Ring in der Dichte $3\,e_x$ endigte, und somit einen Zwischenraum einnahm, in dem sich die Dicke um $2\,e_x$ abstufte; worauf der erste dunkle Ring kam, der ebenfalls einen Zwischenraum einnahm, in dem sich die Dicke um $2\,e_x$ abstufte. Ihm folgte der zweite helle Ring, der in der Dicke $2\,e_x$ anfing und in der Dicke $5\,e_x$ endigte u. s. f. Verbindet man dies Gesetz, durch welches den Ringen ihre Stellen in der Aufeinanderfolge bestimmt werden mit dem, nach welchem die Vertheilung der verschiedenen Farben in den Ringen von derselben Ordnung statt hat, so ist man in Stand gesetzt, wenn man nur irgend eine einzige absolute Dicke zu Anfang, in der Mitte oder am Ende irgend eines von einer gewissen einfachen Farbe gebildeten Ringes gemessen hat, den Werth der ersten Dicke e_x für diese Farbe, so wie für alle andern zu berechnen, uud dann die Grenzdicken $3\,e_x$, $5\,e_x$, $7\,e_x$ ... für Ringe von jeder beliebigen Stelle daraus herzuleiten. Hierzu kann man sich nun des sehr genauen Werthes bedienen, den Newton für die Dicke fand, welche die Luftschicht der Mitte des ersten hellen, von denen zwischen Orange und Gelb liegenden Strahlen hervorgebrachten Ringes hatte; welche Dicke $= \frac{1}{178000}$ engl. Zoll oder $= \frac{1000}{178}$ ist, wenn man den Milliontheil eines engl. Zolles als Einheit nimmt. Dies wird der Werth von $2\,e_x$ für diese Farbe sein; und folglich wird $e_x = \frac{500}{178} = 2{,}80899$ sein. Auf dieses Grundresultat, verbunden mit den zwischen den verschiedenen Farben aufgefundenen Verhältnissen ist folgende Tabelle gegründet, worin durch e_n u. E_n resp. die Dicken bezeichnet sind, in welchen der Ring der n^{ten} Stelle anfängt und endigt.

*) Vergl. jedoch Poggend. Ann. Bd. LXXXVII. S. 61 und 128. Helmholtz über die Theorie zusammengesetzter Farben und Unger über die Theorie der Farbenharmonie.

Tabelle

über die Dicken der Luftschicht, in welchen die verschiedenen Ringe anfangen und aufhören, ausgedrückt in Millionentheilen eines englischen Zolles.

Allgemeine Ausdrücke der Dicken e_n, E_n, in welchen jeder Ring von der Ordnung n anfängt und aufhört	Aeußerstes Violett	Grenze des Violett und Indigo	Grenze des Indigo und Blau	Grenze des Blau und Grün	Grenze des Grün und Gelb	Grenze des Gelb und Orange	Grenze des Orange und Roth	Aeußerstes Roth
1ster Ring e_1	1,99849	3,16154	2,25671	2,42071	2,61866	2,80899	2,93207	3,172206
$E_1 = 3e_1$ . . .	5,99547	6,48462	6,77013	7,26213	7,85598	8,42697	8,79621	9,516618
2ter Ring $e_2 = 5e_1$ . . .	9,99245	10,80770	11,28355	12,10355	13,09330	14,04495	14,66035	15,861030
$E_2 = 7e_1$ . . .	13,98943	15,13078	15,79697	16,94497	18,33062	19,66293	20,52449	22,205442
3ter Ring $e_3 = 9e_1$ . . .	17,98641	19,45386	20,31039	21,78639	23,56794	25,28091	26,38863	28,549854
$E_3 = 11e_1$ . . .	21,98339	23,77694	24,82381	26,62781	28,80526	30,89889	32,25277	34,894266
4ter Ring $e_4 = 13e_1$ . . .	25,98037	28,10002	29,33723	31,46923	34,04258	36,51687	38,11691	41,238678
$E_4 = 15e_1$ . . .	29,97735	32,42310	33,85065	36,31065	39,27990	42,13485	43,98105	47,583090
5ter Ring $e_5 = 17e_1$ . . .	32,97433	36,74618	38,36407	41,15207	44,51722	47,75283	49,84519	53,927502
$E_5 = 19e_1$ . . .	37,97131	41,06926	42,87749	45,99349	49,75454	53,37081	55,70923	60,271914
6ter Ring $e_6 = 21e_1$ . . .	41,96829	45,39234	47,39091	50,83491	54,99186	58,98879	61,57347	66,616326
$E_6 = 23e_1$ . . .	45,96527	49,71542	51,90433	55,67633	60,22918	64,60677	67,43761	72,960738
7ter Ring $e_7 = 25e_1$ . . .	49,96225	54,03850	56,41775	60,51775	65,46650	70,22475	73,30175	79,305150
$E_7 = 27e_1$ . . .	53,95923	58,36158	60,93117	65,35917	70,70382	75,84273	79,16589	85,649562

12) Die Resultate dieser Tabelle lassen sich mittelst einer geometrischen Construction darstellen, welche ihre Ueberschauung mit einem einzigen Blicke gestattet. Wir setzen sie hier so aus einander, wie sie Newton *) gegeben hat.

Bemerken wir zuvörderst, daß die Folge der Größen e_1, E_1, e_2, E_2, e_3, E_3...., für jede Farbe eine arithmetische Progression e_1, $3 e_1$, $5 e_1$, $7 e_1$... bildet, deren Unterschied $2 e_1$ ist und welche der Reihe der ungeraden Zahlen folgt. Um hierfür eine entsprechende geometrische Darstellung zu erhalten, brauchen wir nur eine, ins Unbestimmte ausgedehnte, gerade Linie ZZ', in eine unbestimmte Zahl unter sich und mit e_1 gleicher Theile zu theilen, darauf die aufeinanderfolgenden Eintheilungspunkte durch die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6.... zu bezeichnen. Dann werden die Strahlen dieser Farbe von der Dicke 0 an bis zur Dicke Z 1 $= e_1$ durchgelassen; von der Dicke Z 1 bis zur Dicke Z 3 zurückgeworfen, dann mit Z 3 bis Z 5 wieder durchgelassen, und so fort in der ganzen Ausdehnung der Geraden ZZ' abwechselnd durchgelassen und zurückgeworfen. Das Maximum der Zurückwerfung wird in den Dicken Z 2, Z 6, Z 10 .... Statt haben, welche der arithmetischen Progression der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7... folgen, und das Maximum des Durchgehens in den Dicken Z 4, Z 8, Z 12, welche der arithmetischen Progression der geraden Zahlen 0, 2, 4 6.... folgen, so daß man, um zu erfahren, welche Wirkung irgend eine gegebene und durch ZX vorgestellte Dicke hervorbringt, diese Länge bloß auf die Linie ZZ' von Z an aufzutragen hat, wo dann der Punkt X, an dem sie endet, zu erkennen giebt, ob in ihr Zurückwerfung oder Durchgehen stattfindet, und von welcher Ordnung der in ihr entstehende Ring ist.



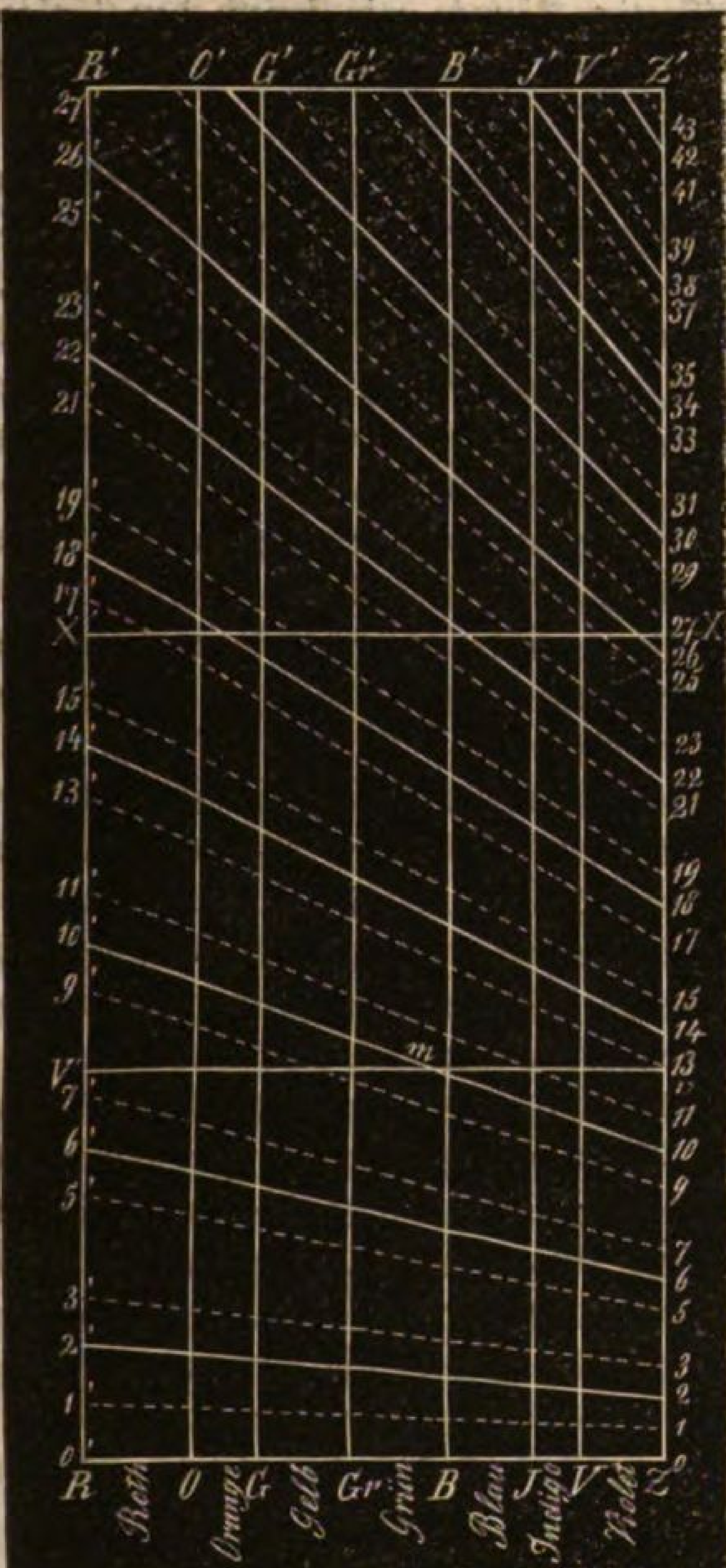
Diese Construction auf einer einzigen geraden Linie ist aber nur für die Strahlen von einer einzigen Farbe, und zwar nur für diejenigen dieser Farbe, welche einer bestimmten Stelle des Spectrums entsprechen, anwendbar. Um sie allgemein zu machen, braucht man nur in Betracht zu ziehen, daß die Werthe von e_n und von E_n für die verschiedenen Farben, wenn n gleich bleibt, den Werthen von e_1, welche diesen Farben zukommen, proportional sind: sie lassen sich sonach durch die Ordinaten einer geraden Linie vorstellen, von der die e_1 die Abscissen wären. Hier auf gründet sich folgende von Newton gegebene Construction.

Auf einer ins Unbestimmte verlängerten Axe CZR, siehe umstehende Figur, nehme man von einem beliebigen Punkte C **) an die Abscissen CZ, CV, CI, CB, CGr, CG, CO, CR, proportional den Zahlen 0,6300; 0,6814; 0,7114; 0,7631; 0,8255; 0,8855; 0,9243; 1, welche der Erfahrung zufolge die Verhältnisse der verschiedenen Werthe von e_1 für die Grenzen der sieben Hauptfarben des Spectrums ausdrücken. Alsdann richte man durch die Endpunkte dieser Abscissen Z, I, ... R, und senkrecht auf die Axe CZR die Ordinaten ZZ', VV,'... RR' in unbestimmter Höhe auf, nehme darauf auf der ersten eine Länge Z 1 gleich dem Werth von e_1 für die letzten violetten Strahlen des Spectrums, welche ans

*) Optices lib. II. pars 2; hier nach Biot, Lehrbuch der Experimental-Physik, deutsch von Fechner, 2. Aufl. 1829. Bd. V. S. 31.

**) Derselbe ist in der Figur weggelassen und in der Verlängerung von RZ nach rechts zu denken, so daß RZ : ZC = 4 : 7 ist.

Schwarz grenzen, trage successiv diesen nämlichen Zwischenraum an die Punkte 2, 3, 4, 5 .... der nämlichen Ordinate und ziehe endlich vom Punkte C die punktirten Linien C 1, C 3, C 5 ...., welche in alle ungeraden Abtheilungen eintreffen. Die Durchschnittspunkte dieser geraden Linien mit den Ordinaten, welche sich auf jede Farbe beziehen, werden die Werthe von e_n und von E_n begrenzen, in welchen die Zurückwerfung dieser Farbe in den Ringen jeder Ordnung anfängt und aufhört. So geben die Räume 11' 33', 55' 77' ...., welche zwischen C 1 und C 3, C 5 und C 7 .... enthalten sind, die Abstufungen der Dicken an, wo eine Zurückwerfung vor sich geht und die Räume dazwischen, 00' 11', 33' 55' ... geben die Abstufungen an, wo alles einfallende Licht durchgeht. Die trapezoidischen Vierecke endlich, die in diesen Räumen zwischen den Ordinaten enthalten sind, welche die sieben Abtheilungen des Spectrums begrenzen, geben noch besonders die Abstufungen der Dicke an, welche der Zurückwerfung oder dem Durchgehen aller der Grade einfachen Lichts, die die Empfindung einer und der nämlichen Farbe hervorrufen, angehören. Die Trapeze z. B., welche zwischen den Ordinaten Z Z' und V V' enthalten sind, gelten für alle Grade des Violett; die zwischen V V' und J J' enthaltenen für alle Grade des Indigo u. s. f. Bei diesen geometrischen Grenzbestimmungen ist jedoch eine wichtige Modification noch hinzuzuziehen.



Nämlich das Durchgehen geschieht vollständig an allen Stellen, die demselben zuertheilt sind, dagegen die Zurückwerfung erst unmerklich an den Grenzen, wo sie beginnt, dann bis zu einem gewissen Maximum zunimmt, für welches die Dicke durch die mittleren Linien 22', 66', 10 10' ... bezeichnet ist, worauf sie ebenso stufenweise wieder abnimmt, und selbst in diesen Dicken, wo sie am kräftigsten ist, nur partiell ist. Auch müssen wir bemerken, daß die Abstufungen der Dicke, in welchen die Zurückwerfung vor sich geht, sich in der Wirklichkeit immer etwas größer als diejenigen finden, in welchen das Durchlassen statt hat, besonders in den Ringen der ersten Ordnungen. Newton, der diesen Unterschied wohl bemerkte, hielt ihn indeß für zu unbedeutend und für zu wenig einer genauen Schätzung fähig, um ihn in Betracht zu ziehen.

Obwohl wir bei Construction dieser Figur so wie der Tabelle, deren versinnlichende Darstellung sie ist, nur die Zurückwerfung der Farben durch dünne Luftschichten im Auge gehabt haben, so ist doch sowohl die eine als die andere auch auf Schichten von jedweder andern Beschaffenheit anwendbar, indem sich die Farbenringe in allen Substanzen nach den nämlichen Gesetzen bilden. Die Veränderung trifft blos die absoluten Werthe der Dicken e_1, in welchen sie sich bilden und welche um so geringer sind, je stärker das Brechungsvermögen der Substanz ist. Mit Zuziehung dieser einzigen Modification können wir sonach den Folgerungen, welche sich aus unserer Construction ziehen lassen, allgemeine Gültigkeit beimessen.

Mit Hülfe derselben läßt sich sofort finden, ob diese oder jene Farbe von einer gewissen Dicke zurückgeworfen oder durchgelassen wird; denn stellen wir diese Dicke durch ZX vor, so brauchen wir sie nur auf die Ordinate ZZ′ aufzutragen, darauf durch den Punkt X, wo sie sich endigt, eine Linie XX′ mit der Axe CZR parallel zu ziehen und endlich zu untersuchen, ob diese Parallele durch einen der Räume hindurchgeht, welche das Durchlassen oder die Zurückwerfung der gegebenen Farben andeuten. Ebenso, um zu erfahren, welche Arten Farben in dieser Dicke ZX durchgelassen oder zurückgeworfen zu werden vermögen, braucht man nur zu beobachten, ob Theile dieser Linie irgendwo durch einen der Räume 00′, 11′, 33′ 55′... wo Durchlassen stattfindet, hindurchgehen, indem diese Theile wirklich das Durchlassen der ihnen zugehörigen Farben andeuten werden; dagegen werden die Theile, welche durch die dazwischenliegenden Räume 11′ 33′ 55′ 77′..... hindurchgehen, auf eine stattfindende Zurückwerfung deuten, welche um so reichlicher für jeden Durchschnitt sein wird, je näher die Linie XX′ diese Räume an ihrer Mitte durchschneidet, wo die mittleren Linien 22′, 66′, 10 10′..... ꝛc. durch sie hindurchgehen. Gesetzt z. B. man verlange zu wissen, welche Art Grün durch Zurückwerfung im dritten Ringe an der Selle erscheinen wird, wo die Zurückwerfung dieser Farbe am lebhaftesten ist, so markire man auf der Querlinie 10, 10′ die Mitte des Quadrats, welches dem Grün angehört, und ziehe durch diesen Punkt eine Linie v′mv parallel mit CZR. Man wird finden, daß sie durch das untere Ende des Raumes, welcher dem Gelb angehört, und das obere Ende des Raumes, welcher dem Blau in diesem nämlichen Ringe anheimfällt, hingeht. Den ganzen übrigen Theil ihres Laufs aber wird die Linie v′mv durch die Räume nehmen, in welchen Durchlassen stattfindet, woraus man zu schließen hat, daß die Art Grün, welche von dieser Dicke zurückgeworfen wird, hauptsächlich aus einfachem Grün, vermischt mit etwas Blau und Gelb, besteht, was noch ein sehr gutes Grün giebt.

Aus diesen Beobachtungen und Resultaten bei einfarbigem Lichte lassen sich nun die Farbenringe, welche bei weißem Lichte entstehen, erklären. Indem dies nämlich Theile von verschiedener Brechbarkeit enthält, so giebt jeder dieser Theile eine eigene Reihe von gleichgefärbten Ringen, die für jeden dieser Theile in anderen Zwischenräumen abstehen (je nach der Brechbarkeit des Theiles, der sie erzeugt). So fallen verschieden gefärbte Ringe auf einander, welche zusammen die oben angeführten Farbenreihen geben.

13) Die vorstehenden Resultate beziehen sich auf die Beobachtungen, welche **Newton** am **reflectirten** Lichte machte, er erstreckte seine Untersuchungen

außerdem aber auch auf das durchgehende Licht. Das Resultat dieser Untersuchung war, daß bei homogenem Lichte auf jeden Farbenring im durchgehenden Lichte ein dunkler Ring im zurückgeworfenen, und umgekehrt, kam; und zwar entsprach der hellste Ring im durchgelassenen Lichte dem dunkelsten im zurückgeworfenen Lichte.

14) Um von den Newton'schen Untersuchungen einen möglichst vollständigen Ueberblick zu geben, sei hier noch erwähnt, daß die oben angegebene Tabelle über die Dicke eines Blättchens aus Luft, Wasser und Glas dazu dient, die Dicke einer dünnen Schicht aus der Farbe, welche sie bei senkrechtem Einfallen zurück wirft, zu bestimmen, wenn ihr Brechungsverhältniß bekannt ist. Ist nämlich diese Farbe gegeben, so findet sich in der Tabelle die entsprechende Dicke, in der sie zurückgeworfen wird, für eine Luftschicht bestimmt, und diese Dicke mit dem Brechungsexponenten der betrachteten Schicht dividirt, giebt die Dicke dieser. Der Brechungsexponent des Glimmers z. B. ist 1,53, der der Luft = 1 angenommen. Man löse nun ein Blättchen dieser Substanz ab, welches so dünn ist, daß es bei senkrechtem Einfallen das Blau der dritten Ordnung zurück wirft. Die Dicke der Luftschicht, welche dieses Blau ebenfalls zurück werfen würde, ist nach Newton's Tabelle 23,4; die des Glimmerblättchens wird folglich $\frac{23,4}{1,53} = 15,3 = 153$ Zehnmilliontheile eines engl. Zolles sein. Da Newton auch die Gesetze entdeckt hat, nach denen die Veränderung der Farben bei verschiedenem Einfallswinkel erfolgt, so kann man auch zugleich den Brechungsexponenten und die Dicke dünner Blättchen bestimmen, wenn man die Farben beobachtet hat, welche unter zwei bekannten Einfallswinkeln davon zurückgeworfen werden.

15) Wie sind nun diese Erscheinungen zu erklären? Der erste, welcher diese Frage zu beantworten suchte, war Hooke *). Er sagt: „Es ist einleuchtend, daß die Reflexion von der unteren oder entfernteren Seite der Lamelle die Hauptursache der Entstehung dieser Farbe ist. Auf ein Glimmerblättchen (Muscovy-Glas), das an dem einen Ende dünner, und dicker an dem anderen ist, falle ein Strahlenbündel, das von der Sonne oder einem anderen entfernten leuchtenden Gegenstande kommt, in schräger Richtung auf das dünnere Ende, so wird ein Theil des Lichtes durch die Vorderfläche der Lamelle reflectirt. Da aber die Lamelle durchsichtig ist, so wird ein anderer Theil in der Vorderfläche auch gebrochen und nach der Hinterfläche fortgepflanzt, von welcher er reflectirt, und von der Vorderfläche abermals gebrochen wird, so daß dann nach zwei Refractionen und einer Reflexion eine Art von schwächerem Strahle entsteht, dessen Wellenschlag (pulse) nicht allein in Folge der beiden Reflexionen in der Vorderfläche, sondern auch wegen der Zeit, die während seines Hin- und Herganges zwischen den beiden Oberflächen der Lamelle verfließt, nach dem von der Vorderfläche reflectirten Wellenschlage folgt. So entsteht, wenn die Flächen der Lamelle so nahe an einander sind, daß das Auge sie nicht unterscheiden kann, ein aus beiden reflectirten vereinigter oder ein

*) Micrographia. London. p. 65.

verdoppelter Wellenschlag, dessen stärkerer Theil vorangeht, und dieser verdoppelte Wellenschlag wird auf der Netzhaut die Empfindung der gelben Farbe verursachen."

„Dies Gelb wird tiefer erscheinen, wenn der schwächere (von der Hinterfläche reflectirte) Wellenschlag bei einer größeren Tiefe der dünnen Platte aus der Richtung der stärkeren ersten (von der Vorderseite reflectirten) mehr heraustritt, bis endlich der Eindruck der rothen Farbe auf das Auge gemacht wird ꝛc."

Abgesehen von der unrichtigen Erklärung, wie die verschiedenen Farben der Lamelle entstehen sollen, sagt hier also Hooke, daß ihr Ursprung überhaupt in dem Gangunterschieden gesucht werden müsse, der sich zwischen den von der Vorder- und Hinterfläche der Lamelle reflectirten Wellen bildet. Wie nahe Hooke der Wahrheit gekommen ist, wird sich bald zeigen.

Newton ergriff diese Ahnungen Hooke's nicht mit der Gewalt seines Genies; er blieb vielmehr bei den Thatsachen stehen, die er an diesen Farben beobachtet hatte. Newton's Beobachtungen im durchgelassenen und reflectirten homogenen Lichte und daß dabei die Wege, die von den Lichtstrahlen zurückgelegt werden müssen, um bald dunkel und bald hell zu erscheinen, einander gleich sind, veranlaßten ihn zu der Hypothese, daß den Lichtstrahlen die Eigenschaft zukomme, in gleichen periodisch wiederkehrenden Entfernungen bald leichter durchgelassen, bald leichter reflectirt werden zu können, und nannte die Eigenschaft der Strahlen ihre **Anwandlungen** (lat. vices facilioris transmissus aut reflexionis, engl. Fits of easy Transmission or of easy Reflexion, franz. accès de facile reflexion et transmission). Diese Disposition (Geneigtheit, Fähigkeit) zurückgeworfen zu werden oder durchzugehen, welche das Licht beim Eintritt in ein Mittel erlangen soll, wachse mit der Tiefe, in welche ein Lichttheilchen eingedrungen ist, bis zu einer bestimmten Größe, nach welcher sie beim weiteren Eindringen in das Mittel wieder abnehme, ganz aufhöre und dann in die entgegengesetzte Disposition übergehe. Diese wachse wieder bis zu einer bestimmten Grenze, nehme sodann wieder ab und gehe abermals in die erste über. Hierbei sollen nicht alle Lichttheilchen, welche einen Strahl bilden, sich zugleich in derselben Disposition befinden. Der Raum, welchen ein Lichttheilchen zwischen der einen Disposition bis zur nächsten durchläuft, heißt der Zwischenraum (Intervall) der Anwandlungen, deren Hälfte die Länge einer Anwandlung ist.

Daß Newton hiermit nicht ein für alle Lichtwirkungen allgemein gültiges Princip aufgestellt habe, hiervon mußte er selbst wohl überzeugt sein, weil er den ähnlichen Wechsel zwischen Helligkeit und Dunkelheit bei den Beugungserscheinungen im homogenen Lichte kannte, wo doch durchaus nicht an eine leichte Transmission oder Reflexion gedacht werden kann. Dennoch verging beinahe ein Jahrhundert, ehe man die Hypothese der Anwandlungen öffentlich anzugreifen wagte. Denn erst in der Mitte des 18. Jahrhunderts entschied sich Euler zuerst für die von Huygens und Hooke behauptete Wellentheorie des Lichtes. Er erkannte, daß die Verschiedenheit der Farben von einer verschiedenen Oscillationsgeschwindigkeit abhänge, mit der die Aethermolecüle die Nervenhaut des Auges treffen, und daß diese Geschwindigkeit weder zu klein noch zu groß, sondern in gewisse Grenzen eingeschlossen sein müsse, wenn im Auge die Empfindung einer Farbe hervorgerufen

werden soll. Was Euler zur Erklärung der Lamellenfarbe anführt *), ist indessen noch durchaus ungenügend.

Das Irrige der Vermuthung des Abbé Mazeas **), daß die Farbenringe nicht nach Newton's Erklärung durch die geringe Tiefe der Luftlamelle entständen, sondern durch irgend eine andere Ursache, welche durch die Wärme entfernt werden könne, wurde durch Muschenbroek ***) nachgewiesen.

Du Tour's Einwand gegen Newton's Hypothese, welcher sich darauf gründete, daß er die Farbenringe auch in dem mit möglichst verdünnter Luft angefüllten Recipienten einer Luftpumpe beobachtet hatte ****), zerfällt sofort, wenn man bedenkt, daß Newton nicht sowohl die Anwesenheit der Luft, sondern vielmehr die eines von den Gläsern verschiedenen Mittels zum Entstehen der Farbenringe für nothwendig erachtet hatte, des Umstandes nicht zu gedenken, daß der Brechungsexponent aus der verdünnten in die gewöhnliche Luft nur sehr wenig von der Einheit verschieden ist.

16) So war der Anfang dieses Jahrhunderts herangekommen und die Erklärung der Farbenringe noch immer ein unlösbares Problem, als im Jahre 1802 Thomas Young, damals Professor der Physik an dem Royal Institution in London, in Folge der oben angeführten Aeußerungen Hooke's das Princip der Interferenz (vergl. diesen Artikel) entdeckte und dasselbe auf die Farbenringe anwandte *****), allerdings den Ursprung der Lamellenfarben nur andeutend, ohne die Theorie derselben zu vollenden.

Im Jahre 1817 wurden hierauf von Arago †) in Betreff der Farbenringe andere wichtige Entdeckungen gemacht. Als er die zwischen zwei Glaslinsen reflectirten Ringe durch ein Kalkspathrhomboëder betrachtete, dessen Hauptschnitt entweder in der Reflexionsebene oder senkrecht gegen dieselbe lag, fand er, daß bei kleineren Einfallswinkeln des natürlichen Tageslichtes die beiden Bilder der Ringe dieselbe Intensität hatten, daß eines derselben allmälig lichtschwächer wurde, wenn der Einfallswinkel zunahm, daß es bei dem Polarisationswinkel (vergl. den Art. Polarisation) von etwa 55° (vom Lothe an gerechnet) ohne eine Verdunkelung des Gesichtsfeldes an dieser Stelle völlig verschwand, und von neuem sichtbar wurde, wenn der Einfallswinkel noch mehr wuchs, daß sich also in Uebereinstimmung mit Arago's Erwarten das reflectirte Licht der farbigen Ringe gerade so, wie das reflectirte natürliche verhielt. Wider sein Erwarten aber fand er, daß auch das farbige Licht der durchgelassenen Ringe für eben dieselben Lagen des Kalkspaths ganz dieselben Erscheinungen darbot, als

---

*) Mém. de l'acad. de Berlin 1752 (gedruckt 1754). T. VIII. p. 262 in der Abhandlung: Essai d'une explication physique des couleurs engendrées sur des surfaces extrémement minces.

**) Mem. de Math. et Phys., présentés à l'acad. des sciences. Paris 1755. T. II. p. 26.

***) Introductio ad phil. naturalem. Lgd. Bat. 1762. T. II. p. 733.

****) Mém. de Math. et Phys. présentés etc. Paris. T. IV. p. 285.

*****) Phil. Transact. of the Soc. of London 1802. p. 37 in der Abhandlung: On the Theory of Light and Colours.

†) Mém. de Phys. et de Chimie de la Soc. d'Arcueil. Paris 1817. T. III. p. 223 in dem Mém. sur les couleurs des lames minces; vergl. auch Poggend. Ann. Bd. XXVI. S. 123.

ob auch diese Ringe durch reflectirtes Licht entständen. Weder er selbst noch Malus und Biot wußten dies damals zu erklären. Was ihnen aber noch unerklärlicher zu sein schien, war folgende gleichfalls von Arago gemachte Entdeckung. So wie dies der ältere Herschel *) schon früher gethan hatte, vertauschte Arago die untere Linse mit einem Metallspiegel, so daß die reflectirten Ringe zwischen Glas und Metall entstanden. Fiel dann das Licht unter Winkeln ein, die kleiner waren, als der Polarisationswinkel des Glases, während der Hauptschnitt des Kalkspaths wieder in der Einfallsebene oder senkrecht gegen dieselbe lag, so waren beide Bilder zwar an Intensität verschieden, die Farben der Ringe einer und derselben Ordnung aber in beiden dieselben, wie bei den zwischen Glas und Glas reflectirten Ringen. Auch verschwanden die Farben in dem einen der beiden Bilder, wenn der Einfalls- dem Polarisationswinkel gleich war. Wurde aber der Einfallswinkel noch größer genommen, so wurden zwar wieder beide Bilder sichtbar, jedoch mit der merkwürdigen Eigenthümlichkeit, daß die Farben in dem Bilde, in welchem sie verschwunden waren, als complementäre zu denen in dem andern sich zeigten, in welchem die Farben sich nicht geändert hatten. Fand die innigste Berührung zwischen der Linse und dem Metalle statt, so erschien z. B. der Centralfleck dem freien Auge grau; durch den Krystall betrachtet aber war er in dem einen Bilde schwarz und in dem andern weiß.

Ungeachtet Young 1802 die richtige Erklärung der Farben dünner Blättchen angedeutet hatte, suchte der ältere Herschel doch den Ursprung derselben anderswo, nämlich in der Trennung, welche die farbigen Bestandtheile eines weißen Lichtbündels beim Uebergange aus dem Glase in die Luft an der Grenze der totalen Reflexion (vergl. Artikel Brechung Bd. I. S. 874) erleiden. Parrot **) wollte sie aus der Voraussetzung erklären, daß die Oberflächen der Körper, an denen man sie wahrnimmt, erwärmt und mit dünnerer Luft, in welcher die farbigen Bestandtheile des weißen Lichtes verschieden gebrochen würden, umgeben seien. Tobias Mayer 2. ***) endlich suchte den Grund dieser Farben in einer anziehenden Kraft, welche die beiden Oberflächen der Gläser in der Nähe der Berührungsstelle gegen die materiellen Lichtmolecüle äußern sollten. Indem diese Kraft sich in einen gegen die Berührungsstelle gerichteten Zug zusammensetze, lasse sie die einzelnen Bestandtheile eines weißen Strahlenbündels eine solche Ablenkung erleiden, daß sie in den farbigen Ringen getrennt erscheinen.

Fresnel ****) war es 1823, der hier zuerst die Bahn brach, die von Young gegebene Erklärung der Lamellenfarben wieder aufnahm und eine befriedigende Lösung des Problems gab. Bald darauf wurden die hierauf bezüglichen

*) W. Herschel's Untersuchungen über die Farben dünner Blättchen findet man in den Phil. Transact. of the Soc. of London. 1807 p. 180 und in den Fortsetzungen dieser Abhandlung in den Jahrgängen von 1809 S. 259 und 1810 S. 149.

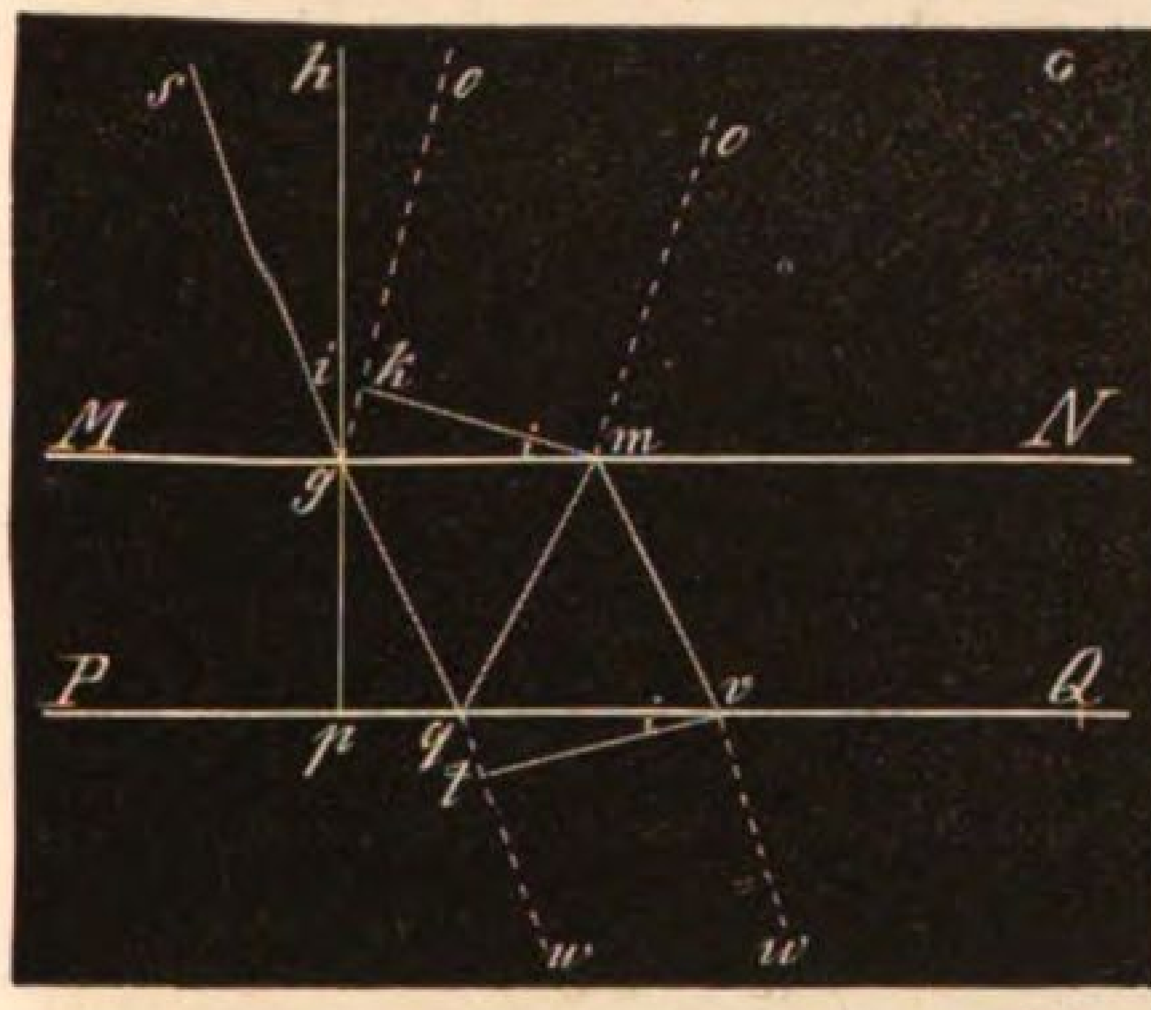
**) Gilb. Ann. Bd. XLVII. S. 215 u. Bd. LI. S. 265.

***) De arcubus coloratis inter duo vitra objectiva seu plana conspicuis. Commentationes soc. Reg. Goettingensis recentiores 1823. Vol. V. p. 3.

****) Supplément à la Chimie de Thomson. p. 70. Ann. de Chimie et de Phys. par Gay-Lussac et Arago, 1823. T. XXIII. p. 129. note sur le phenomène des anneaux colorés. Vergl. auch Poggend. Ann. Bd. 12. S. 197 u. 599.

analytischen Untersuchungen auch von Poisson *) und John Herschel **), und später von Airy ***), Radike ****) und Knochenhauer *****) angestellt. Neuerdings hat sich namentlich E. Wilde †), dem wir im Vorstehenden auch vorzugsweise gefolgt sind, Verdienste um diese Disciplin erworben.

17) Um nun einen Einblick in die Erklärung der Färbenringe durch die Undulationstheorie zu geben, seien in nebenstehender Figur MN und PQ die parallelen Oberflächen einer auf beiden Seiten von derselben Glasart umgebenen Luftlamelle, und sg ein unter dem



Winkel sgh = i einfallendes Bündel homogener und paralleler Strahlen, in denen die Aethervibrationen (vergl. Art. Licht) senkrecht gegen die Einfallsebene sein mögen, und dessen Intensität = 1 gesetzt werde. Der in g bei dem Uebergange des Bündels aus dem Glase in die Luft in der Richtung go reflectirte Theil desselben sei α, so geht der Theil $1 - \alpha$ unter dem Brechungswinkel pgq = r in die Lamelle nach q über, wo wieder, wenn man den beim Uebergange des Bündels aus der Luft in das Glas reflectirten Lichttheil mit α' bezeichnet, der Theil α' reflectirt und der Theil $1 - \alpha'$ durchgelassen wird. Von dem in q mit der Intensität $(1 - \alpha)\, \alpha'$ reflectirten Bündel qm wird in m abermals der Theil $1 - \alpha'$ durchgelassen, so daß hier dieses Bündel mit der Intensität $(1 - \alpha)\, (1 - \alpha')\, \alpha'$ in der Richtung mo in das obere Glas übergeht, und mit dem Bündel go, dessen Intensität $= \alpha$ ist, an der oberen Grenze der Lamelle interferiren (vergl. Artikel Interferenz) kann.

Der Unterschied in den Wegen dieser beiden interferirenden Bündel ist, wenn noch mk senkrecht gegen go gezogen wird, gq + qm — gk, wovon jedoch der Theil gk im Glase, und der Theil gq + qm in der Luft liegt. Im Glase legt aber ein Lichtstrahl den Weg 2 in derselben Zeit zurück, in welcher er in der Luft den Weg 3 durchläuft, wenn $^3/_2$ der Brechungsexponent aus der Luft in das Glas ist. Die Bewegung des Lichtes erfolgt daher gerade so, als ob eine Wellenlänge λ' im Glase nur $^2/_3$ einer Wellenlänge λ in der Luft betrüge, ganz abgesehen davon, ob in der That die Zahl der Wellenlängen in beiden Mitteln in

*) Ann. de Chimie et de Phys. T. XXII. p. 337. Sur le phenomène des anneaxu colores.

**) „Vom Lichte" aus dem Englischen übersetzt von Schmidt. S. 334. — Herschel 2. on Light. §. 641.

***) Airy on the undulatory theory of optics. Mathematic. Tracts (2. edit.) p. 301. Vergl. auch Poggend. Ann. Bd. XLI. S. 512; auch findern sich Artikel von Airy in Poggend. Ann. Bd. XXII. S. 611; Bd. XXVI. S. 123 u. Bd. XXVIII. S. 75.

****) „Handbuch der Optik." Bd. II. S. 95.

*****) „Die Undulationstheorie des Lichtes." S. 88.

†) Poggend. Ann. Bd. LXXXII. S. 18 u. 188.

gleichen Zeiten ungleich ist, und λ' und λ zwar gleich sind, aber mit verschiedener Geschwindigkeit von dem Strahle durchlaufen werden. Man kann also im Allgemeinen $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$ setzen, wenn n den Brechungsexponenten aus der Luft in das Glas bedeutet, und es kommen daher, weil der Weg des Lichtes durch die Wellenlänge dividirt die Zahl der Wellenlängen angiebt, die in diesem Wege enthalten sind, $\frac{gq + qm}{\lambda}$ Wellenlängen auf den in der Luft zurückgelegten Weg gq + qm, auf den anderen gk im Glase aber $\frac{gk}{\lambda'} = \frac{n \,.\, gk}{\lambda}$ Wellenlängen, so daß der in g an der oberen Grenze der Lamelle reflectirte Strahl dem anderen an der unteren Grenze in q reflectirten um $\frac{gq + qm - n \,.\, gk}{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda}$ Wellenlängen voraneilt. Dies also ist der auf dieselbe Wellenlänge λ in der Luft zurückgeführte Gangunterschied der interferirenden Bündel go und mo.

Da der Brechungswinkel r in der Luft liegt, so hat man ferner $\sin r = n \,.\, \sin i$ (vergl. Art. Brechung des Lichtes), folglich, wenn die senkrechte Tiefe gp der Lamelle = d gesetzt wird.

$$gq = qm = d \,.\, \sec.\, r;\quad gm = 2d \,.\, \mathrm{tgs.}\, r, \text{ und}$$
$$gk = gm \,.\, \sin.\, gmk = gm \,.\, \sin.\, i = 2\,d \,.\, \mathrm{tgs.}\, r \,.\, \sin.\, i,$$

so daß der Gangunterschied der beiden interferirenden Bündel go und mo:

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{1}{\lambda}(gq + qm - n \,.\, gk) = \frac{1}{\lambda}(2\,d \,.\, \sec.\, r - 2\,n\,d \,.\, \mathrm{tgs.}\, r \,.\, \sin.\, i)$$
$$= \frac{1}{\lambda}(2\,d \,.\, \sec.\, r - 2\,d \,.\, \mathrm{tgs.}\, r \,.\, \sin.\, r) = \frac{2\,d\,(1 - \sin^2.\, r)}{\lambda \,.\, \cos.\, r} = \frac{2\,d \,.\, \cos.\, r}{\lambda}.$$

Bei der Reflexion eines nach der Einfallsebene polarisirten Strahles tritt aber an der einen Grenze der Lamelle eine Umkehrung der Aetherschwingungen im Vergleich mit ihrer Richtung an der anderen ein, welche Umkehrung für die Intensität des reflectirten Lichtes denselben Erfolg hat, als wäre der Gangunterschied der interferirenden Strahlen um eine halbe Wellenlänge (oder überhaupt um eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen) größer oder kleiner, als er wirklich ist, dies jedoch nur unter der einzigen Bedingung, daß sich noch eine Luftschicht zwischen den Gläsern befindet *). Diese Umkehrung der Aetherschwingungen findet auch für einen reflectirten und senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Strahl statt.

Dies ist das sogenannte Young'sche Gesetz, weil dieser zuerst die Newton'schen Ringe durch die Undulationstheorie zu erklären versuchte und nothwendig auf dasselbe geführt wurde, ohne es freilich bei dem damaligen Zustande der Optik beweisen zu können. Um es aber wenigstens zu versinnlichen, wie die Aetherschwingungen hier erfolgen, verglich er das Glas mit einer größeren Elfen-

*) Dies Letztere ist besonders wichtig, wegen der besonderen Erscheinungen an der Berührungsstelle.

beinkugel, die Luft mit einer kleineren und die Vibrationen der Elfenbeinmolecüle mit denen des Aethers. So wie, wenn die größere Kugel an die kleinere anschlägt, beide sich in derselben Richtung fortbewegen, wenn aber umgekehrt die kleinere an die größere anstößt, die erstere zurückprallt und beide nach entgegengesetzten Richtungen aus einander gehen (vergl. Artikel Bewegung Bd. I. S. 840), so erfolge auch eine Umkehrung in den Aetherschwingungen, je nachdem ein Strahl bei seinem Uebergange aus dem Glase in die Luft oder aus der Luft in das Glas zurückgeworfen wird.

Vergrößert oder verkleinert man also den Unterschied in den Wegen der beiden interferirenden homogenen Bündel go und mo um eine halbe Wellenlänge oder überhaupt um eine ungerade Anzahl $2m + 1$ von halben Wellenlängen, so wird ihr Gangunterschied statt $\frac{2d \cdot \cos. r}{\lambda}$ jetzt:

$$\frac{2d \cdot \cos. r}{\lambda} + \frac{(2m + 1)\lambda}{2\lambda}.$$

Sind die homogenen und gleichfarbigen interferirenden Strahlen nicht ähnlich polarisirte *), sondern natürliche, so läßt sich ein natürlicher Strahl in Betreff seiner Intensität so ansehen, als sei er aus zweien zusammengesetzt, in denen die Aetherschwingungen senkrecht gegen die Einfallsebene und in derselben geschehen, und von denen jeder die Hälfte der Intensität des natürlichen hat. Man muß daher, wenn natürliches Licht auf die Lamelle fällt, die Intensität des in der Einfallsebene schwingenden Strahls $= 1$, und die des natürlichen folglich $= 2$ setzen.

Man nennt die hellsten Stellen die Maxima, und die dunkelsten die Minima der Lichtstärke, und erhält nun bei schief einfallenden Strahlen

$$\text{die Maxima für } d = \frac{\lambda}{4 \cos. r}, = \frac{3\lambda}{4 \cos. r} = \frac{5\lambda}{4 \cos. r} \ldots.$$

$$\text{und die Minima für } d = \frac{2\lambda}{4 \cos. r} = \frac{4\lambda}{4 \cos. r} = \frac{6\lambda}{6 \cos. r} \ldots.;$$

bei senkrecht einfallenden Strahlen aber, da $r = 0$ und also $\cos . r = 1$ wird;

$$\text{die Maxima für } d = \frac{\lambda}{4}, = \frac{3\lambda}{4} = \frac{5\lambda}{4} = \frac{7\lambda}{4} \ldots.$$

$$\text{und die Minima für } d = \frac{2\lambda}{4}, = \frac{4\lambda}{4} = \frac{6\lambda}{4} = \frac{8\lambda}{4} \ldots..$$

Je nachdem daher bei senkrecht einfallenden Strahlen die Tiefe der Lamelle eine ungerade oder gerade Anzahl von Viertelwellenlängen beträgt, ist das reflectirte Licht hell oder dunkel.

---

*) Aehnlich oder gleichartig polarisirt sind zwei oder mehrere in derselben Richtung sich fortpflanzende Lichtstrahlen, wenn in ihnen die Aetherschwingungen in parallelen Richtungen erfolgen; ein Lichtstrahl heißt natürlich oder unpolarisirt, wenn die in demselben nach einander folgenden Aethermolecüle in allen denkbaren Richtungen schwingen; polarisirt hingegen, wenn die Schwingungen aller zu ihnen gehörigen Aethermolecüle einander parallel sind.

An dieser Stelle glauben wir vorzugsweise verpflichtet zu sein, auf eine Vergleichung mit den Newton'schen Anwandlungen (s. oben 15.) hinzuweisen. Auf welcher Seite die klarere, präcisere Auffassung zu finden ist, dürfte nicht zweifelhaft sein. Doch gehen wir in unserer Betrachtung weiter.

Für die Tiefe Null der Lamelle, für welche sich keine Luft mehr zwischen den Gläsern befindet, kann eben deshalb auch keine Umkehrung in den Aetherschwingungen eintreten. Für diese Tiefe fällt also in den oben gefundenen Ausdrucke für den Gangunterschied

$$\frac{2\,d\cos.\,r}{\lambda} + \frac{(2\,m+1)\,\lambda}{2\,\lambda}$$

das zweite Glied fort und die Intensität der Mitte des Ringsystems wird daher, wenn die Gläser sich berühren, nicht ein Minimum (dunkel), sondern ein Maximum (hell) *).

Bei einer starken Zusammenpressung der Gläser zeigt der Centralfleck aber eine Schwärze. Woher kommt diese? Jerichau, den wir oben bei dem Gyreidometer kennen gelernt haben, hat wohl das Richtige angegeben und auch Wilde **) stimmt ihm bei. Diese Schwärze entsteht durch durchgelassenes Licht, wie die Stelle eines Spiegels, an der die Folie fehlt, des hier durchgelassenen Lichtes wegen gegen den übrigen hellen Spiegelhintergrund schwarz erscheint, oder wie der innere auch noch so helle Raum eines Zimmers, durch eine Oeffnung von außenher betrachtet, im durchgelassenen Tageslichte um so schwärzer sich zeigt, je kleiner die Oeffnung ist. Auch das dunkle Aussehen der Pupille gehört hierher.

18) Newton leitete ***) aus seinen Messungen die Regel ab, daß die Dicken der dünnen Luftschichten, die successiv demselben Ringe entsprechen, sich proportional der Secante eines Winkels verhalten, der ausgedrückt werden kann durch die Ralation

$$\sin u = \frac{\left(105 + \frac{1}{n}\right)}{106} \sin r,$$

wo n der Brechungsexponent des Glases und r der Winkel, den der gebrochene Strahl in der dünnen Schicht mit der Normalen macht; aus

$$d' = \frac{3\,\lambda}{4\cos r} = \frac{3\,\lambda}{4}\sec r = d\,.\sec r$$

bei schief einfallenden Strahlen folgt aber, daß sich die zu demselben Ringe gehörigen Tiefen der Luftlamelle wie die Secanten der Einfallswinkel aus der Luft in das Glas verhalten. Es kommt also die Newton'sche Regel nur für kleine Einfallswinkel der Wahrheit nahe, sie bleibt aber immer ein Beweis, wie genau Newton mit seinen unvollkommenen Mitteln gemessen hatte. Daß das Verhältniß $1 : \sec. r$ das richtige ist,

---

*) Wegen der Berechnung der Intensität vergleiche E. Wilde in Poggend. Ann. Bd. LXXIX. S. 91 u. Bd. LXXXII. S. 31.

**) Poggend. Ann. Bd. LXXX. S. 408 u. Bd. LXXXII S. 37.

***) Opt. lib. II. pars 1. observ. 7.

bestätigen auch die Versuche von F. de la Provostaye und J. Desains *), welche die Beobachtung für die Neigungen 7° 55′ 30″, 37° 36′, 84° 3′ und 85° 21′ anstellten.

19) Was bedeutet nun im Sinne der Undulationstheorie das Intervall der Anwandlungen, welche Newton annahm? Nichts anderes als eine halbe Wellenlänge, denn aus den für senkrecht auffallende Strahlen gefundenen Werthen für d ergeben sich die Unterschiede der Tiefer einer Luftlamelle

für die Maxima (hellen Ringe) $= \frac{3\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4} = \frac{5\lambda}{4} - \frac{3\lambda}{4} \ldots = \frac{\lambda}{2}$

und ebenso

für die Minima (dunklen Ringe) $= \frac{4\lambda}{4} - \frac{2\lambda}{4} = \frac{6\lambda}{4} - \frac{4\lambda}{4} \ldots = \frac{\lambda}{2}$

Aus den Newton'schen Messungen ergeben sich für die Wellenlängen der prismatischen Farben folgende Werthe **) ***).

Farbe	Wellenlänge in der Luft in engl. Zollen	Wellenlänge in der Luft in Millimetern	Anzahl der Schwingungen in einer Secunde
			Billionen
Aeußerstes Roth	0,0000254	0,000645	476
Mittleres Roth	244	620	496
Grenze zwischen Roth und Orange .	235	596	515
Mittleres Orange	229	583	527
Grenze zwischen Orange und Gelb .	225	571	538
Mittleres Gelb	217	551	558
Grenze zwischen Gelb und Grün .	209	532	578
Mittleres Grün	201	512	600
Grenze zwischen Grün und Blau .	194	492	624
Mittleres Blau	187	475	647
Grenze zwischen Blau und Indigo .	180	459	669
Mittleres Indigo.	176	449	684
Grenze zwischen Indigo und Violett	173	439	700
Mittleres Violett.	166	423	727
Aeußeres Violett.	160	406	757

*) Compt. rend. T. XXVIII. p. 253 u. Poggend. Ann. Bd. LXXVI. S. 459.

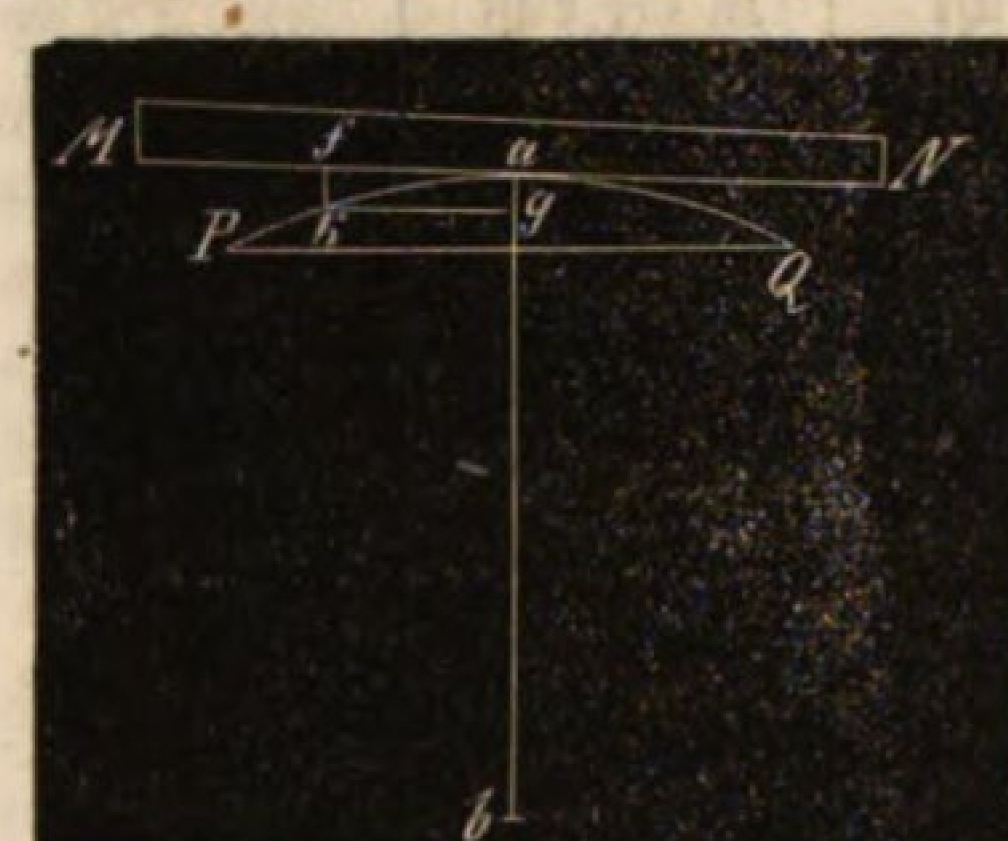
**) Dieser Berechnung liegt die Geschwindigkeit des Lichtes nach Struve's Beobachtungen zu Grunde = 41513 deutsche Meilen, 1 d. M. = 7407000 Millimetern. — Newton selbst hat die Intervalle der prismatischen Farbrn nicht berechnet. Für die Grenzen der Farben sind sie nach Newton's Messungen von Biot zuerst in engl. Zollen bestimmt (Traité de Phys. T. IV. p. 109, deutsche Bearbeitung von Fechner. 2. Aufl. Bd. V. S. 30, und ist diese Tabelle oben außerdem gegeben). In Millimetern ist die Tafel von Fresnel berechnet (Poggend. Ann. Bd. III. S. 114). Die Wellenlängen für die mittleren Farben in engl. Zollen und die vierte Columne sind von E. Wilde hinzugefügt (Poggend. Ann. Bd. LXXXII. S. 189). Vgl. überdies: E. Wilde, Geschichte der Optik. Th. II. S. 92 u. f.

***) Bezüglich des Werthes dieser Zahlen vergleiche man: Drobisch „über die Wellenlängen und Oscillationszahlen der farbigen Strahlen im Spectrum" (in den Berichten der k. sächs. Gesellschaft der Wissensch. 1852. S. 71.)

Aus dieser Tabelle sehen wir, daß die Ringe der brechbareren Farben enger sind, als die gleichvielten der weniger brechbaren, da die Tiefe d der Lamelle, bei welcher eine bestimmte Farbe erscheint, lediglich von der Wellenlänge λ dieser Farbe abhängt.

Ebenso ergiebt sich das Verhältniß, wenn man, was schon Newton gethan hat, einen Tropfen Wasser zwischen die Gläser bringt. Die Halbmesser der gleichvielten Ringe werden im Verhältniß von 7 : 8 kleiner, als in einer Luftlamelle, so daß die Tiefen einer Wasser- und einer Luftlamelle das Verhältniß von 49 : 64 oder beinahe 3 : 4 haben, daß sie also im Brechungsverhältnisse aus dem Wasser in die Luft stehen.

20) Die Erklärung der Erscheinung in nicht homogenem, sondern weißem Lichte ergiebt sich nun einfach daraus, daß an den Stellen, wo z. B. die Minima für die rothe Farbe sind, die übrigen im weißen Lichte enthaltenen Farben nach dem Verhältnisse ihrer Wellenlängen vorherrschen, da für dieselben Werthe von r die Tiefe einer Lamelle, bei welcher eine bestimmte Farbe erscheint, nur von der Wellenlänge dieser Farbe abhängt.



Die gemischte reflectirte Farbe, die eine Luftlamelle für eine gegebene Tiefe zeigt, läßt sich am leichtesten mit Hülfe der unter 19. gegebenen Tabelle durch eine graphische Darstellung bestimmen. Ist in beistehender Figur MN das auf dem convexen Glase PQ liegende Planglas, und $ab = \varrho$ der zur Krümmung PaQ gehörige Radius, so ist $kg^2 = 2\varrho \cdot ag$ und daher, weil $ag = fk = d$ (Tiefe der Lamelle) ist, erhält man für die Quadrate der Ringhalbmesser im reflectirten homogenen Lichte für die Maxima

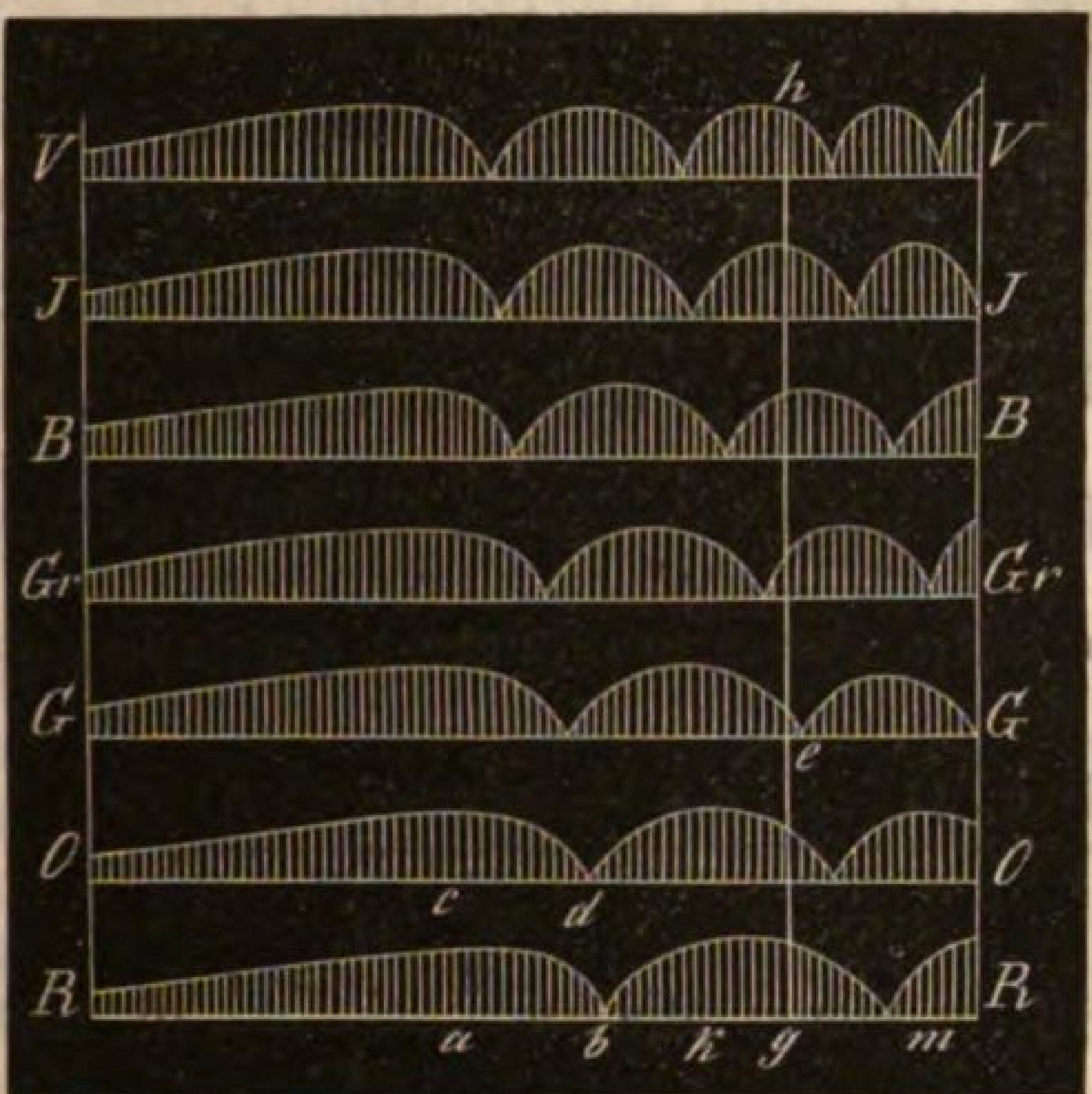
$$af^2 = 2\varrho \cdot d = 2\varrho \frac{\lambda}{4 \cos. r}, = 2\varrho \frac{3\lambda}{4 \cos. r}, = 2\varrho \frac{5\lambda}{4 \cos. r} \ldots$$

und für die Minima

$$af^2 = 2\varrho \cdot d = 2\varrho \frac{2\lambda}{4 \cos. r}, = 2\varrho \frac{4\lambda}{4 \cos. r}, = 2\varrho \frac{6\lambda}{4 \cos. r} \ldots$$

Hieraus folgt, wie schon oben bei Darstellung der Newton'schen Untersuchungen ausgeführt ist, daß die Halbmesser der auf einander folgenden hellsten und dunkelsten Ringe nicht allein für verschiedene Farben eine verschiedene Länge haben, z. B. für die rothen Strahlen die größte und für die violetten die kleinste, sondern es folgen auch selbst für eine und dieselbe Farbe die hellsten und dunkelsten Ringe nicht in gleichen Abständen auf einander (vergl. oben 6.). So ist z. B. für $\varrho = 200$ engl. Zoll und $r = 0^0$ der Halbmesser des ersten hellen Ringes für die mittleren rothen Strahlen $= \left[400 \frac{0{,}0000244}{4}\right]^{1/2} = 0{,}0494$ Zoll. Derselbe Halbmesser für die mittleren gelben $= \left[400 \frac{0{,}0000217}{4}\right]^{1/2} = 0{,}0466$ Zoll, und für die mittleren violetten Strahlen in gleicher Weise $= 0{,}0407$ Zoll.

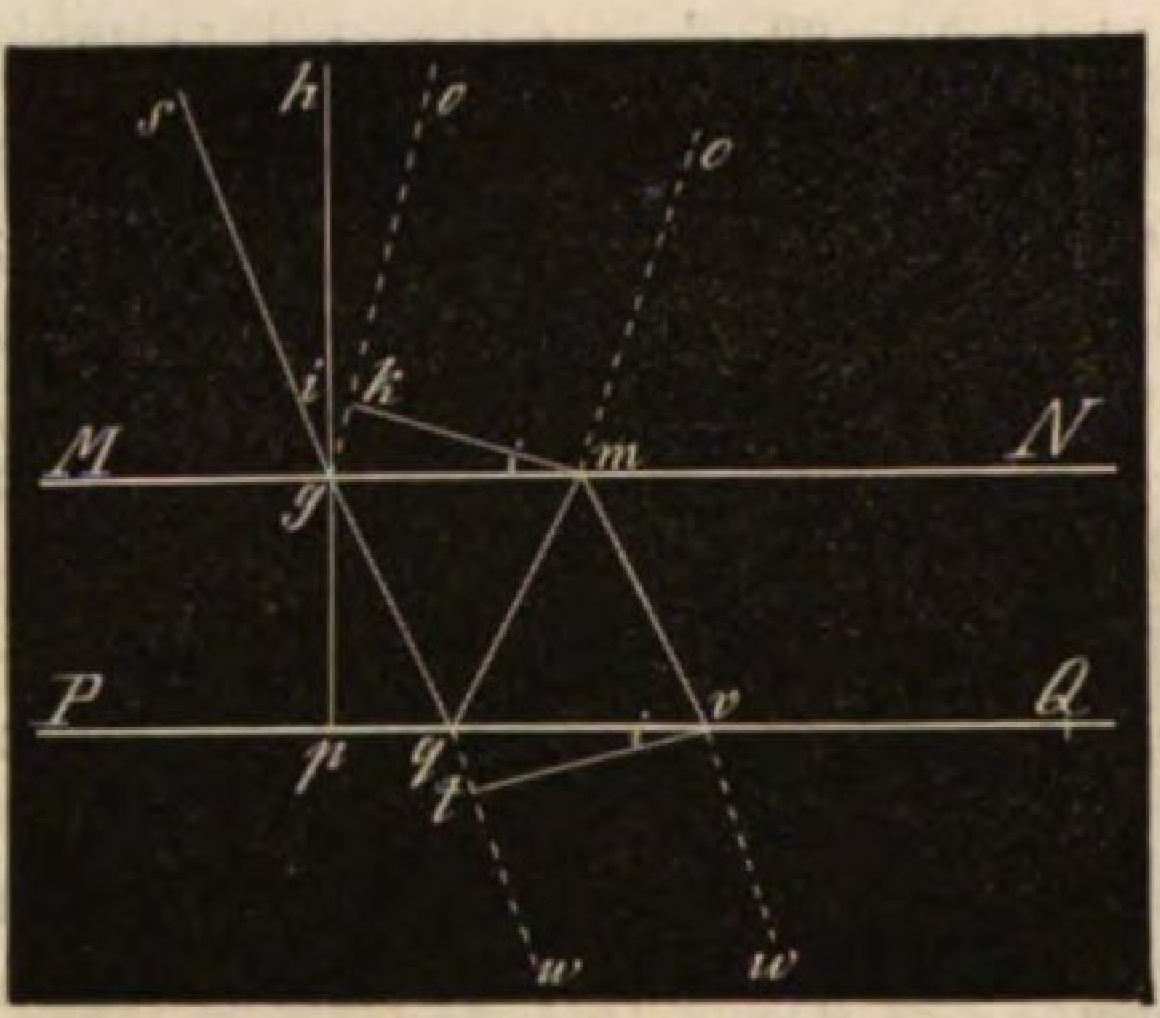
Diese Halbmesser nebst den übrigen für die ersten Maxima trage man in ihrer verhältnißmäßigen Größe und die folgenden im Verhältniß der Quadratwurzeln: $\sqrt{1}$; $\sqrt{2}$; $\sqrt{3}$; $\sqrt{4}$; $\sqrt{5}$; .... = 1; 1,414; 1,732; 2; 2,236 .... auf den horizontalen Linien RR, OO ..., in nebenstehender Figur ab, den Halbmesser des ersten Maximums der mittleren rothen Strahlen von R bis a, den des ersten Minimums von R bis b .... den des ersten Maximums der orangefarbenen Strahlen von O bis c, den des ersten Minimums von O bis d ..., und stelle die zu- und abnehmenden Intensitäten durch die senkrechten Ordinaten der über den horizontalen Linien gezeichneten Curven vor. Sollte dann z. B. die Mischfarbe bestimmt werden, die bei der Tiefe der Luftschicht entsteht, bei welcher die mittleren gelben Strahlen in e ihr zweites Minimum haben, also bei der Tiefe $\lambda = 0{,}0000217$ Z.; so wird die in e auf G G errichtete Senkrechte g h die Intensitäten aller Farben bestimmen, die bei dieser Tiefe der Luftlamelle zur Erzeugung der Mischfarbe mitwirken. Die Senkrechte g h aber zeigt, daß diese Farbe durch blaue Strahlen in der Nähe des Maximums, durch rothe, einige orangefarbene, grüne und violette entstehe, daß sie folglich röthlich blau sein werde.



Daß diese Figur nicht blos für ein Plan- und Converglas mit beliebigen Werthen von ϱ und r, sondern auch für zwei Converlinsen gültig sei, ergiebt sich daraus, daß alle Linien in derselben nur in ihrer verhältnißmäßigen Größe genommen sind. Aus eben dieser Figur geht auch hervor, daß die für größere Tiefen der Schicht auf RR errichteten Senkrechten durch die Maxima mehrerer Farben zugleich gehen, daß daher für solche Tiefen eine Sonderung des Tageslichtes in Farben nicht möglich sei. Anders verhält es sich bei der Anwendung homogenen Lichtes, weil hier nirgends die Maxima verschiedener Farben zusammenfallen können. Daher kommt es auch, daß im Tageslichte nur eine kleine Anzahl von Ringen deutlich erkennbar ist, während man im homogenen Lichte, man möchte sagen, eine unzählige Menge von Ringen wahrnimmt, die freilich nach den Rändern der Gläser hin, zumal wenn diese groß sind, so dicht an einander liegen, daß man sie ohne Mikroskop kaum zu unterscheiden vermag.

21) Wenden wir uns jetzt noch zu den durchgelassenen Farben.

Es ist schon bei dem reflectirten Lichte nachgewiesen worden, daß der nach der Einfallsebene polarisirte Strahl g q m (siehe umstehende Figur) mit der Lichtstärke $(1 - \alpha)\,\alpha'$ in m ankommt. Von dieser Intensität wird der Theil α' in m abermals nach v reflectirt, und hiervon der Theil $1 - \alpha'$ in v durchgelassen, so daß $(1 - \alpha)\,(1 - \alpha')\,\alpha'^2$ die Intensität des von der Stelle v in der Rich-



tung vw durchgelassenen Strahles ist, der mit dem in der Richtung gqw direct durchgelassenen und gleichfalls nach er Einfallsebene polarisirten Strahle, dessen Intensität nach zweimaliger Brechung in g und q den Werth $(1 - \alpha)(1 - \alpha')$ hat, interferiren kann.

Ist die Wellenlänge im Glase wieder $= \lambda'$, der Brechungsexponent aus der Luft in Glas $= n$ gesetzt, und die Linie vt senkrecht gegen qw gezogen; so enthält der im Glase zurückgelegte Weg qt des direct durchgelassenen Strahles $\frac{qt}{\lambda'} = \frac{n \cdot qt}{\lambda}$ Wellenlängen in der Luft, und es haben daher die beiden homogenen Bündel gqmv und gqt den Gangunterschied

$$\frac{gq + qm + mv - (gq + n \cdot qt)}{\lambda} = \frac{qm + mv - n \cdot qt}{\lambda},$$

der ebenso groß, wie bei dem reflectirten Lichte, also $= \frac{2\,d \cdot \cos r}{\lambda}$ ist, weil $qt = gk$. Eine Umkehrung der Aetherschwingungen in dem zweimal reflectirten Bündel gqmv im Vergleiche mit ihrer Richtung in dem direct durchgelassenen gqt ist in diesem Falle nicht möglich.

Für das durchgelassene Licht ergeben sich nun

$$\text{die Maxima für } d = \frac{2\lambda}{4 \cos r}, = \frac{4\lambda}{4 \cos r}, = \frac{6\lambda}{4 \cos r} \ldots,$$

$$\text{und die Minima für } d = \frac{\lambda}{4 \cos r}, = \frac{3\lambda}{4 \cos r}, = \frac{5\lambda}{4 \cos r} \ldots.$$

Ebenso ergiebt sich, daß überall das durchgelassene Licht das complementäre (vergl. Art. Farbe) des einfallenden ist.

Wendet man nicht homogenes, sondern weißes Licht an, so ist zwar auch in diesem Falle bei derselben Tiefe der Lamelle die Farbe eines durchgelassenen Ringes stets complementär zu der des reflectirten; es sind aber in den durchgelassenen Farben viele weiße Strahlen enthalten und daher erscheinen dieselben weniger lebhaft.

22) Arago's Entdeckungen erklären sich aus der Undulationstheorie auf eine ganz ungezwungene Weise. Hier mag es genügen die eine, daß die Strahlen der durchgelassenen Ringe ebenso wie die der reflectirten nach der Einfallsebene polarisirt sind, wenn natürliches Tageslicht unter dem Polarisationswinkel auf die Gläser fällt, näher ins Auge zu fassen, wegen der übrigen verweisen wir auf Poggend. Ann. Bd. LXXXII. S. 201.

Nach dem Brewster'schen Gesetze *) ist der Polarisationswinkel eines Mittels derjenige, welcher mit seinem Brechungswinkel die constante Summe von 90° bildet, so daß also in der vorhergebrauchten Figur $i + r = 90°$ ist (vergl. Art. Polarisation des Lichtes). An der unteren Grenze in q ist r der der Einfalls- und i der Brechungswinkel, da bis auf eine merkliche Entfernung von dem Berührungspunkte beider Gläser die verlängerten Radien der unteren Linse, welche die Einfallslothe für dieselben sind, mit den senkrechten Tiefen der Lamelle beinahe zusammenfallen. Es ist also auch hier $r + i = 90°$, und daher r ebenso der Polarisationswinkel für die untere Grenze der Lamelle, wie es i für die obere ist. Da dasselbe auch für den Einfallspunkt m an der oberen Grenze gilt, so sind es also für $i + r = 90°$ der zweimal unter dem Polarisationswinkel in q und m reflectirte Strahl g q m v, und der beinahe in unverändertem Zustande direct durchgelassene g q, durch deren Interferenz irgend eine Farbe in den durchgelassenen Ringen entsteht. Vollständig interferiren können aber nur solche lineare Aetherschwingungen, die in einer und derselben Ebene in parallelen Richtungen erfolgen. Da nun die Schwingungen in dem zweimal unter den Polarisationswinkel reflectirten Strahle senkrecht gegen die Einfallsebene gestellt werden, so sind es von dem direct durchgelassenen gleichfalls nur die senkrecht gegen die Einfallsebene gerichteten Schwingungen, die mit jenen interferiren können. Die interferirenden Aetherschwingungen haben daher in den unter dem Polarisationswinkel i durchgelassenen Ringen ebenso eine senkrechte Richtung gegen die Einfallsebene, wie in den unter dem Polarisationswinkel reflectirten und sind deshalb in beiden Fällen in derselben Weise polarisirt.

23) Bei der Untersuchung der von Arago zuerst wahrgenommenen Erscheinungen, die man an den Ringen wahrnimmt, die zwischen einer Glaslinse und einem Metallspiegel sich bilden, hat E. Wilde, im Tageslichte experimentirend, noch folgende Resultate erhalten, über welche er auch**) aus der Undulationstheorie den nöthigen Aufschluß giebt.

a) Wird eine flache Convexlinse an den Spiegel so stark angedrückt, daß beide sich aufs innigste berühren, so zeigt sich der von farbigen Ringen umgebene Centralfleck bei Strahlen, welche unter einem beliebigen Winkel einfallen, nicht dunkel oder gar schwarz, sondern hellgrau, und es werden die Ringe gerade so, wie die Newton'schen, um so größer, je schräger das Licht einfällt.

b) Betrachtet man das Ringsystem durch ein doppeltbrechendes Prisma oder ein Kalkspathrhomboëder, dessen Hauptschnitt in der Einfallsebene oder senkrecht gegen dieselbe liegt; so bemerkt man in beiden Bildern bei kleinen Einfallswinkeln eine gleiche Intensität, bei größeren aber, die indessen kleiner als der Polarisationswinkel von etwa 56° genommen werden, sind zwar die Intensitäten beider Bilder verschieden, die Farben in den gleichvielten Ringen jedoch übereinstimmend. Fällt aber das Licht unter dem Polarisationswinkel ein, so verschwindet, je nachdem der Hauptschnitt des Kalkspaths in der Einfallsebene oder senkrecht gegen dieselbe liegt, in dem einen Falle das ungewöhnliche und in dem anderen das ge-

---

*) Phil. Transact. of the Soc. of London 1815. p. 125.
**) Poggend. Ann. Bd. LXXXII. S. 206.

wöhnliche Bild (vergl. Art. Brechung des Lichtes Bd. I. S. 892), ohne daß an der Stelle des verschwundenen Bildes eine Verdunkelung des Gesichtsfeldes eintritt, wie man dies alles auch bei den zwischen zwei Gläsern gebildeten Ringen bemerkt. Die Uebereinstimmung derselben mit den zwischen einem Glase und einem Spiegel gebildeten hört jedoch auf, wenn man den Einfallswinkel größer, als den Polarisationswinkel nimmt. Beide Bilder dieser Ringe werden dann zwar wieder sichtbar, es sind aber die Farben in dem, welches verschwunden war, die complementären zu denen des anderen, das unter dem Polarisationswinkel nicht verschwand, während sich beide Bilder der zwischen zwei Gläsern entstandenen Ringe unter den verschiedensten Richtungen der einfallenden Strahlen (mit alleiniger Ausnahme des Polarisationswinkels) in denselben Farben zeigen.

c) Wird das Rhomboëder bei Einfallswinkeln, die kleiner als der Polarisationswinkel sind, vor dem Auge herumgedreht, so zeigen sich die Intensitäten beider Bilder, des gewöhnlichen und ungewöhnlichen ungeachtet die Farben in den gleichvielten Ringen dieselben sind, um so mehr verschieden, je mehr sich der Hauptschnitt der Einfallsebene nähert, oder je mehr er eine gegen diese Ebene senkrechte Lage erhält. Beide Bilder haben dagegen eine gleiche Intensität, wenn der Winkel des Hauptschnittes mit der Einfallsebene $= 45^0$, $= 135^0$ .... ist.

d) Liegt der Hauptschnitt des Kalkspaths in der Einfallsebene oder senkrecht gegen dieselbe, so bemerkt man bei Einfallswinkeln, die kleiner als der Polarisationswinkel sind, einen geringen Unterschied in den Ringdurchmessern beider Bilder, und zwar sind die Durchmesser in dem Bilde, welches unter dem Polarisationswinkel verschwindet, die kleineren.

e) Wird das Ringsystem durch ein Nicol'sches Prisma (s. Art. Polarisation des Lichtes) unter Einfallswinkeln betrachtet, die größer sind als der Polarisationswinkel, so zeigt sich in der Mitte des einzigen Bildes, welches dann wahrgenommen wird, ein weißer Fleck von einem schwarzen Kreise umgeben, wenn der Hauptschnitt des Prisma in der Einfallsebene liegt, und Glas und Spiegel sich aufs innigste berühren. Wird aber der Hauptschnitt vor dem Auge rechts- oder linkshin gedreht, so dehnt sich der weiße Fleck immer mehr und mehr in einem weißen Kreis aus, dessen Mitte schwarz und dessen Durchmesser am größten ist, wenn der Hauptschnitt eine gegen die Einfallsebene senkrechte Lage erhalten hat. Wird dann die Drehung des Hauptschnittes nach derselben Richtung hin fortgesetzt, so zieht sich der weiße Kreis wieder in einen weißen Fleck zusammen, der von einem schwarzen Kreise umgeben ist, wenn der Hauptschnitt um 180^0 gedreht wurde rc. Ebenso gehen auch die Farben der übrigen Ringe, wenn der Hauptschnitt aus der Einfallsebene in eine gegen dieselbe senkrechte Lage gedreht wird, in die complementären über.

24) Wir haben in dem Vorstehenden die Ansicht Newton's, welche sich auf die Emanationstheorie stützt, kennen gelernt und gesehen, daß er zu der absonderlichen Annahme der Anwandlungen sich gezwungen sah, wir haben dann dieselben Erscheinungen nach der Undulationstheorie darzustellen gesucht und gefunden, daß sich alle Erscheinungen auf eine in dem Wesen dieser Theorie begründeten Weise ohne allen Zwang und ohne jede willkürliche Annahme, denn

auch das Young'sche Gesetz ist bewiesen, ableiten ließen. Es unterliegt mithin wohl keinem Zweifel, daß der letztere Weg der allein richtige ist zu der Erklärung dieser Erscheinungen. Es sei hier nur noch erwähnt, daß die Annahme der Anwandlungen in dem Wesen der Emanationstheorie gar nicht begründet, sondern eine willkürliche ist, wodurch eine Theorie sich von vornherein verdächtig macht und eigentlich nichts weiter ist, als eine Darstellung der allgemeinen Gesetze, nach welchen die Erscheinungen erfolgen; aber auch abgesehen davon, steht sie sogar mit anderen Voraussetzungen eben dieser Theorie in directem Widerspruche. Um die Ausdehnung der Ringe bei größeren Einfallswinkeln erklären zu können, sieht man sich gezwungen vorauszusetzen, daß die Intervalle der Anwandlungen für alle Farben mit dem Einfallswinkel wachsen. Entstehen aber die Anwandlungen, wie Newton glaubt *), dadurch, daß die körperlichen Molecüle eines Lichtstrahls in dem Mittel, in welches sie eintreten, Schwingungen erregen, die sich schneller fortpflanzen, als der Strahl, und deshalb seine Bewegung in wechselnder Folge beschleunigen oder verzögern: so ist es doch nicht zu begreifen, wie hieraus eine Aenderung der Intervalle für verschiedene Einfallswinkel folgen soll. Und um die Verengerung der durch eine dichtere Schicht, z. B. eine Wasserlamelle entstehenden Ringe erklären zu können, muß man die Voraussetzung machen, daß die Intervalle der Anwandlungen für alle Farben in einer dichteren Schicht kleiner werden, die Strahlen sich also langsamer bewegen; die Erklärung des Brechungsgesetzes durch eben diese Theorie führt aber darauf hin, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in dem dichteren Mittel größer sei, als in dem dünneren.

Zur Rechtfertigung der Undulationstheorie in Beziehung auf die Erklärung der Farbenringe verweisen wir überdies noch auf E. Wilde in Poggend. Ann. Bd. LXXX. S. 408 und auf seine Abhandlung: Ueber die Interferenzfarben, die zwischen zwei Glasprismen, oder einem solchen Prisma und einer parallelen Glasplatte sich bilden können in Poggend. Ann. Bd. LXXXIII. S. 541.

B. 1) Eine zweite Art von Farbenringen beobachtete Newton **) als er im finsteren Zimmer einen Lichtstrahl durch ein Loch von $^1/_3$ Zoll Durchmesser senkrecht auf einen gläsernen Spiegel, welcher auf der einen Seite hohl und auf der anderen erhaben war, also auf einen concentrisch geschliffenen Kugelspiegel, fallen ließ. Die Kugel, aus welcher dieser Spiegel geschliffen war, hatte im Halbmesser 5 Fuß 11 Zoll und auf der erhabenen Seite eine Belegung von Quecksilber. Um einen einzelnen Lichtstrahl auffallen lassen zu können, hielt Newton einen Bogen weißes Papier in den Mittelpunkt der Kugelflächen, die den Spiegel ausmachten, oder etwa 5 Fuß 11 Zoll vom Spiegel so, daß das Licht durch ein kleines Loch im Papiere ging. Dieser Lichtstrahl wurde von dem Spiegel auf das Papier zurückgeworfen und nun beobachtete Newton auf demselben 4 bis 5 concentrische farbige Ringe wie Regenbogenfarben um das Loch herum, welche den Farben dünner Blättchen ähnlich, aber breiter und matter waren. Der fünfte Ring war kaum sichtbar, bei hellem Sonnenscheine aber zeigten sich noch einige schwache Spuren

*) Opt. lib. III. quart. 29.
**) Opt. lib. II. ps. 4.

eines sechsten und siebenten. In der Mitte dieser Ringe war ein weißer, runder und schwach erleuchteter Flecken, welcher etwas breiter, als der zurückgeworfene Lichtstrahl war. Ließ er nur homogenes Licht durch die Oeffnung des Papieres, so erschienen auch nur einfarbige Kreise und ihre Halbmesser waren den Quadratwurzeln von 1, 2, 3, 4 ... proportional.

Nachdem Newton das Quecksilber von dem Spiegel abgerieben hatte, fand er, daß das bloße Glas eben solche Ringe, nur weit matter, erzeugte, und daß also das Quecksilber diese Erscheinung nicht verursachte. Ein metallener Spiegel brachte keine solche farbigen Ringe zu Wege, und daraus schloß er, daß sie nicht von einer einzigen Spiegelfläche herrührten, sondern von den beiden Oberflächen der zum Spiegel gebrauchten Glasscheibe und der Dicke derselben abhingen. Hierauf maß er die Dicke des Glases, welches er zum Spiegel gebrauchte, und fand, daß sie genau $^1/_2$ Zoll betrug.

2) Später verfolgte man diese Erscheinungen auf experimentellen Wege und entdeckte noch mancherlei Interessantes, so daß man jetzt eine ganze Klasse derartiger Erscheinungen kennt, welche man mit dem Ausdrucke **„Farben dicker Platten“** bezeichnet. Der Herzog de Chaulnes *) entdeckte, daß die Lebhaftigkeit dieser Ringe durch das Behauchen des Glases bedeutend gesteigert wird. Um sich eine bleibende Trübung zu verschaffen, da der Hauch bald verschwand, breitete er auf der Spiegelfläche ein Gemisch von Milch und Wasser aus. Man gießt auf den horizontal gehaltenen Spiegel ein solches Gemisch von drei oder vier Theilen Wasser und einem Theil Milch, läßt es sich auf demselben gehörig ausbreiten, und hält nun den Spiegel senkrecht vor ein Feuer, wodurch der größere Theil des Gemisches abläuft und der Rückstand in wenigen Minuten eintrocknet. — Als der Herzog statt des Glasspiegels einen Metallspiegel nahm, vor welchem er ein matt gemachtes Glimmerblatt aufstellte, konnte er leicht beobachten, wie sich bei einer Veränderung im Abstande des Glimmers vom Spiegel der Durchmesser der Ringe veränderte. Bei dieser Form des Versuches war die Glasplatte ersetzt durch die Luftplatte, die zwischen dem Glimmer und dem Spiegel vorhanden war. — Es wurden auch Ringe erzeugt, wenn das matte Glimmerblatt durch einen Schirm aus feinem Musselin ersetzt war. In diesem Falle waren jedoch die Ringe beinahe quadratisch, obwohl an den Ecken etwas abgerundet. — Eine Reihe paralleler Drähte gab nur einen hellen Streif, durchschnitten von kürzeren Streifen, die lebhaft gefärbt waren. — Selbst die Klinge eines Messers erzeugte eine ähnliche Erscheinung, zwar schwach, aber hinreichend, um die Identität mit den früheren festzustellen.

W. Herschel **) erwähnt eines Versuches, bei welchem die hier besprochenen Ringe blos dadurch erzeugt wurden, daß vor einem Metallspiegel, der wie bei Newton's Versuche aufgestellt war, Puder in der Luft verbreitet wurde.

Biot ***) hat die Newton'schen Versuche in Verbindung mit Pouillet und Deflers wiederholt, auch noch einige neue hinzugefügt. Pouillet ****)

---

*) Mémoires de l'Académie 1755. p. 136.
**) Phil. Transact. 1821. f. 1807. p. 231.
***) Tract. de Phys. Tome IV. chap. 7.
****) Elémens de Phys. T. II. p. 476, vergl. auch Ann. de Chim. et Phys. 1816. T. I. p. 87.

fand, daß Ringe entstehen, wenn man vor einem Metallspiegel einen opaken Schirm mit irgend wie gestalteter Oeffnung anbringt, wobei die Ringe rund waren, wie auch die Gestalt der Oeffnung sein mochte.

Quetelet *) hat Beobachtungen veröffentlicht, welche ihm Whewell mitgetheilt hatte, nämlich die Bildung von Farbenstreifen, wenn das an einem, einige Fuß entfernten, ebenen und belegten Glasspiegel reflectirte Bild einer nahe dem Auge gehaltenen Kerze betrachtet wird, wobei sich als wesentliche Bedingung herausstellte, daß die Oberfläche des Spiegels nicht vollkommen glänzend ist. Quetelet empfiehlt einen Ueberzug von Fett.

3) Daß Newton bei der Erklärung dieser Erscheinungen wieder zu den Anwandlungen seine Zuflucht nahm, ist nicht zu verwundern; auch Biot folgt ihm hierin. Nach dem, was in diesem Artikel unter A. über die Anwandlungen gesagt worden ist, können wir dies indessen wohl auf sich beruhen lassen. Die aus der Undulationstheorie sich ergebende Erklärung hat zuerst Th. Young **) aufgestellt; er leitete die Farbenringe ab von der Interferenz zweier Lichtbündel, von welchem das eine beim Eintritt in das Glas zerstreut, und dann regelmäßig zurückgeworfen und gebrochen, das andere aber erst regelmäßig gebrochen und zurückgeworfen und dann bei seiner Rückkehr durch die erste Fläche zerstreut wird. In das Detail des Gegenstandes geht Young zwar nicht ein, doch sieht man, daß er das Wesentliche der Erklärung deutlich erfaßt hatte. — Eine vollständige Erklärung dieser Ringe giebt J. Herschel ***). Neuerdings ist der Gegenstand ausführlich behandelt worden von G. G. Stockes zu Cambridge ****). Er liefert die Theorie der nach Newton's Weise gebildeten Ringe, hierauf die Theorie der durch einen ebenen Spiegel gebildeten Streifen oder Ringe; betrachtet dann die Ringe, welche durch einen krummen Spiegel gebildet und direct mit dem Auge betrachtet werden, wenn der Lichtpunkt und sein Bild nicht in derselben, auf der Achse winkelrechten Ebene liegen, geht hierauf zu den geraden Streifen über, welche durch einen Planspiegel unter beträchtlichem Einfallswinkel gebildet und mit einem Auge entweder direct oder durch ein Fernrohr gesehen werden, und knüpft hieran eine nähere Untersuchung der Art, wie die Erscheinungen eigentlich entstehen. Die Erklärung dieser Erscheinungen aus der Undulationstheorie ist ein Triumph dieser Theorie; dieselbe hier vollständig zu geben, würde zu weit führen, es genüge daher der eben geführte Nach- und Hinweis. Ueberdies muß in Betreff noch anderer Farbenstreifen und Farbenringe auf die Artikel: Inflection und Polarisation des Lichtes verwiesen werden. H. E.

Farbenringe Nobili's oder Nobili'sche oder elektrochemische Figuren haben ihren Namen von ihrem ersten Beobachter, dem Italiener Nobili, erhalten, und zwar fällt die Entdeckung in das Jahr 1826 *****). Das Object, um welches es sich hier handelt, ist folgendes:

*) Correspondance mathématique et phys. T. V. (1829) p. 394 u. T. VI. p. 69.

**) On the Theory of Light and Colours. Phil. Transact. f. 1802. p. 41.

***) Treatise on Light, vergl. auch Encyclopaedia Metropolitana, Arts. 676. etc.

****) Transact of the Cambridge Phil. Society. Vol. IX. pt. II. Vergl. Poggend. Ann. Bd. LXXXVII. b (Ergänzungsband 3). S. 546 — 596).

*****) Bibl. univers. T. XXXIII. p. 302; T. XXXIV. p. 194; T. XXXV. p. 40; T. XXXVI. p. 3; T. XXXVII. p. 177; T. XXXVIII. p. 31; eine vollständige Uebersetzung findet sich in

Wenn man den elektrischen Strom durch dünne Drähte in eine zu zersetzende Flüssigkeit leitet, so hängen sich ihre Bestandtheile, falls sie fest sind, in der Regel an sie an, und bei schwachen elektrischen Strömen und dadurch bedingter langsamer Ausscheidung lagern sich wohl gar die frei werdenden kleinsten Theilchen ganz regelmäßig ab und bilden Krystalle. Läßt man aber den einen Poldraht in eine ebene polirte Scheibe ausgehen, während der andere in eine Spitze ausläuft und der Ebene dieser Scheibe senkrecht gegenübersteht; so legt sich meistens das Product der Zersetzung, welches an dem der Scheibe entsprechenden Pole erscheint, in Form concentrischer Kreise an, deren Mittelpunkt der Spitze des anderen Polardrahtes gerade gegenübersteht.

Nobili hat zur Erzeugung dieser Ringe eine zusammengesetzte Vorrichtung angegeben *), doch ist dieselbe entbehrlich. Ein einfaches Verfahren ist folgendes:

Man läßt zwei starke, aber unten in eine feine Spitze ausgezogene Platindrähte durch zwei, ungefähr einen Zoll weit von einander abstehende Löcher eines Querholzes vertical durchgehen, so daß sie sich in den Löchern oder in darin befestigten Korken auf und ab schieben lassen. Unter die Drähte setzt man ein gläsernes oder porcellanenes Gefäß, in welches man eine wohl polirte Metallplatte legt, die man ein oder zwei Linien hoch mit Flüssigkeit übergießt. Nun schiebt man entweder den einen Draht so weit herab, daß er mit der Platte in Berührung kommt, während die Spitze des anderen $1/2$ Linie oder noch weniger davon entfernt bleibt, oder man läßt auch die Spitzen beider Drähte um so viel von der Platte entfernt. In beiden Fällen werden hierauf die Drähte mit den Polen der Säule in Verbindung gesetzt.

Hat man die Spitzen beider Drähte in einiger Entfernung von der Platte gelassen, so wirkt sie als angebrachte Zwischenplatte mit abgeleiteten Polen, dem positiven Drahte gegenüber als negativer, dem negativen Drahte gegenüber als positiver Pol, und es bilden sich beiden Drähten gegenüber Figuren, der Beschaffenheit des abgeleiteten Poles gemäß; ist aber ein Draht mit der Platte in Berührung, so wirkt sie blos als Verlängerung des Poldrahtes, und es bildet sich dann auf ihr blos eine einzige Figur, der entgegenstehenden Drahtspitze gegenüber und der Polarität der Platte gemäß. Im letzteren Falle erscheint die Figur deutlicher und entwickelter, dahingegen im ersteren, wo positive und negative Figuren zugleich entstehen, — (positive Figuren nennen wir die, welche entstehen, wenn die Platte mit dem positiven Poldrahte in Berührung ist; negative die bei Berührung der Platte mit dem negativen Poldrahte entstandenen) — eine wechselseitige Störung ihrer Formen stattfindet, wofern man nicht die Drähte in etwas weiterer Entfernung von einander auf die Platte wirken läßt.

Wir begnügen uns, von den eine außerordentlich große Menge Flüssigkeiten umfassenden Versuchen Nobili's blos einige wenige anzuführen, welche entweder besonders zur Wiederholung auffordern, oder den Vorgang besonders

Schweigg. Journ. Bd. XLIX. S. 58; Bd. L. S. 144; Bd. LIII. S. 441. 456; Bd. LIV. S. 40 u. 69; vergleiche auch Poggend. Ann. Bd. X. S. 392 u. 500; daraus in Dingler's polytechn. Journ. Bd. XCIV; ferner Zeitschrift für Physik und Mathematik. Bd. II. S. 435 u. Bd. III. S. 65; Berzelius, Jahresbericht, Jahrg. 25. S. 137.

*) Schweigg. Journ. Bd. LIV. S. 40.

zu erläutern scheinen. Sind die Figuren vollkommen ausgebildet, so bestehen sie aus mehreren concentrischen Ringen, deren Mittelpunkt der Drahtspitze gegenüber liegt, und prangen zum Theil mit den schönsten Regenbogenfarben nach einem bestimmten Gesetze. Sie sind gebildet durch einen Niederschlag der positiven und negativen Stoffe der gewählten Auflösung in höchst dünnen Schichten.

Essigsaures Blei. Auf positivem Gold und Platin bilden sich binnen wenig Augenblicken verschiedene, concentrische, mit Regenbogenfarben schillernde Ringe von so lebhaft glänzender Farbe, als die Farbenringe Newton's (vergl. Art. Farben dünner Blättchen). Diese schillernden Ringe entwickeln sich einer aus dem andern, indem sie nach Art der Wellen fortschreiten; ihre Lebhaftigkeit und Nettigkeit hängt zum großen Theile ab von dem Grade der Politur der Oberfläche, auf welcher sie hervortreten. Auf wenig polirten Flächen zeigen sie sich gewöhnlich schwach und verwirrt. Sie widerstehen der Wirkung eines mäßigen Feuergrades; aber verschwinden gänzlich durch Salpetersäure. Weniger bestimmt, aber viel mannichfaltiger wird die Erscheinung, wenn man die Anzahl der negativen Polardrahtspitzen vermehrt und diese zu regelmäßigen Figuren, z. B. in Gestalt eines Dreiecks, Vierecks rc. anordnet. So viele Spitzen, so viele Systeme concentrischer, in Regenbogenfarben schillernder Ringe bilden sich auf der entgegengesetzten Platte; und diese durchkreuzen und schneiden sich nicht bei ihrer Verbreitung, wie dies Wellen thun würden, sondern, wenn sie mit einander in Berührung gekommen sind, vergrößern sie sich blos in der Richtung nach Außen, so daß sie nur Einen gemeinschaftlichen Umkreis bilden. — Auch positives Silber zeigt die nämlichen Regenbogenfiguren, wiewohl minder deutlich, als Gold und Platin. — Blei, Zinn, Wismuth und Antimon zeigen nichts Bemerkenswerthes. — Statt des bloßen essigsauren Bleies empfiehlt sich auch sehr eine Mischung desselben mit essigsaurem Kupfer. (Grünspanlösung in Essig).

Brechweinstein. Auf positivem Silber fünf, von der Mitte ausgehend, folgendermaßen gefärbte Ringe. Der erste dunkel, der zweite silberweiß, der dritte himmelblau, zum Violetten neigend, der vierte silberweiß, der fünfte violett, aber lichter an seinem äußeren Rande. — Auf negativem Silber fünf andere concentrische Ringe, von welchen der erste schwarz, der zweite gelbröthlich, der dritte schwarz, der vierte hellblau, der fünfte schwach dunkel gefärbt ist.

Essigsaures Kupfer und Salpeter. Auf negativem Silber: ein metallisch glänzendes Centrum, dann eine Reihe concentrischer Ringe, die in folgender Ordnung einander folgen. Der Mitte zunächst zwei kleine grüne Ringe von nicht sehr intensiver Färbung; dann ein weißer, ein rother, ein grünlicher und endlich eine schön feuerrothe Kupferzone. Um diese Zone schließt sich ein himmelblauer, mit strahlenförmig sich ausbreitenden Linien, gleich einem graduirten Kreise, bezeichneter Ring. Diese Strahlen erstrecken sich bis auf den Kupferring. Zuletzt kommt eine zweite, ungleich breitere, aber ebenso glänzende Kupferzone, umgeben von einem schönen, grünen Ringe, welcher die Figur begrenzt. — Auf Gold und Platin zeigen sich die nämlichen Erscheinungen. Von Einfluß auf das Gelingen des Versuches ist es, daß die Metallscheiben nicht zu sehr polirt sind.

Petersiliensaft. Auf positivem Silber: ein dunkelfarbiger Punkt im Centrum, umgeben von einem weißlichen und einem grünen Stoffe; dann zwei schöne Regenbogen, von denen der eine stärker gefärbt ist als der andere, und die von dem Centralpunkte durch eine Zone geschieden sind, welche von einem so durch-

sichtigen Flore überzogen ist, daß sie kaum von reinem Silber sich unterscheidet. Hitze ertheilt den Regenbogen außerordentliche Lebhaftigkeit und Glanz.

Runkelrübensaft. Auf positivem Silber: in der Mitte ein rother Punkt, umgeben von 4 Ringen, deren erster gelb, der zweite blau, der dritte roth und der vierte grün ist; weiter nach Außen zeigen sich zwei oder drei sehr schöne Regenbogen.

Schweinegalle. Auf negativem Silber: im Centrum ein Stoff, der nach Innen zu dunkel und nach Außen gelb gefärbt ist; dann einige verschiedenartig gefärbte Ringe, welche von einem sehr deutlichen Regenbogen umgrenzt sind, der seinerseits in eine blaue Zone sich auflöst. Zwischen dem Regenbogen und den inneren Ringen zeigt sich eine Zone von schöner Rosenfarbe.

Diese Figuren haben bei allen Flüssigkeiten und auf allen Metallen, die man anwenden mag, und wo sie überhaupt entstehen, das mit einander gemein, daß sie concentrische, abwechselnd hellere und dunklere, öfters gefärbte, Ringe bilden, und zwar gilt dies sowohl für die negativen als für die positiven Figuren. Jedoch überwiegt der positive Pol bei Weitem den negativen Pol in dem Vermögen, sich in der Form solcher Figuren mit ausgeschiedenen Substanzen zu überziehen, welcher Unterschied schon bei chemischen Präparaten beträchtlich ist, aber noch ohne Vergleich stärker wird, wenn man organische z. B. thierische Flüssigkeiten oder Pflanzensäfte anwendet, mit welchen man sogar nur am positiven Pole gut ins Auge fallende Phänomene erhält.

Man kann jedoch die Wirkung des negativen Poles theils durch Verstärkung des elektrischen Stromes, theils, wenn man Metallauflösungen anwendet, durch Hinzufügung eines Salzes mit alkalischer Basis zu denselben erhöhen. Ueberhaupt ändert sich die Beschaffenheit und Intensität der Farben sehr nach Beschaffenheit des angewandten flüssigen Leiters. Die Erscheinungen, welche man am positiven Pole bei Zersetzung thierischer und vegetabilischer Flüssigkeiten erhält, sind im Allgemeinen viel schöner und lebhafter, als die, welche aus chemischen Präparaten erhalten werden. Unter letzteren scheinen die Metallauflösungen und ihre Mischungen unter einander und mit Alkalisalzlösungen am geeignetsten zur Hervorbringung dieser Erscheinungen, am wenigsten geeignet die Alkalisalzlösungen; doch hat Nobili mit nicht wenigen derselben auf Silber, Kupfer und Messing positive Figuren erhalten. — Im Allgemeinen bediente er sich concentrirter Auflösungen.

Als Platten zur Aufnahme der Nobili'schen Figuren scheinen sich nur die negativen Metalle von Messing an zu eignen; wenigstens bemerkte Nobili, sobald er positive Metalle anwandte, kein deutliches Erscheinen von Figuren auf denselben.

Im Allgemeinen widerstehen die erhaltenen Figuren mehr oder weniger der Wirkung des Reibens. Durch Erhitzung werden ihre Farben oft auf überraschende Weise belebt.

Hat man eine Figur hervorgebracht, welche dem einen Pole entspricht, so kann man sie wieder verschwinden machen, wenn auch nicht ganz, indem man einen elektrischen Strom von entgegengesetzter Richtung darauf wirken läßt. Diese Umkehrung giebt zuweilen Veranlassung zur Entstehung neuer Farben, welche den Charakter der ursprünglichen Erscheinung verändern.

Ueber die Formstörung der Figuren, welche beobachtet wird, wenn man positive und negative Figuren zugleich auf derselben Platte entstehen läßt, hat

Nobili eine eigene Reihe von Versuchen angestellt. In Bezug zu einer Mischung von essigsaurem Blei und essigsaurem Kupfer auf Platin hat er folgende nähere Bestimmungen gegeben.

Während jede Figur einzeln dargestellt vollkommen rund ist, sind dagegen beide zugleich dargestellt stets mehr oder weniger zusammengedrückt und kleiner als bei einzelner Darstellung. Jedenfalls aber bleibt zwischen beiden Figuren ein vollkommen reiner und glänzender Zwischenraum, in welchem die Scheibe auch nicht vom geringsten Hauche überzogen erscheint. Zu beiden Seiten dieses Zwischenraumes sind die Umrisse der Figuren so scharf abgeschnitten, daß die dunkle Farbentinte der Platte, welche die Figuren am äußern Rande umgiebt, hier ganz und gar fehlt. Man kann jedoch diese Störung der Form dadurch verhüten, daß man die Communication der Flüssigkeit von einer Hälfte der Platinplatte zur anderen durch eine gläserne Scheidewand hindert, so daß der Strom blos durch die Platinplatte selbst von einer Hälfte des Gefäßes zur anderen gelangen kann. In diesem Falle erstrecken sich beide Figuren ganz ohne Formstörung bis dicht an die Scheidewand *).

Ueber die Stromverhältnisse, von welchen diese Formstörungen abzuhängen scheinen, ist die Originalabhandlung nachzusehen **).

Stellt man die Versuche mit essigsaurem Blei und essigsaurem Kupfer, einzeln genommen, an, so erzeugen sich ähnliche Phänomene; in diesem Falle aber übertrifft die eine der beiden Figuren die andere bedeutend an Ausdehnung und an Lebhaftigkeit der Farben. Bei Anwendung von essigsaurem Blei ist die positive Figur sehr groß und besteht aus schönen farbigen Ringen, die sehr fest auf der Scheibe haften, während die negative Figur nur aus einer ziemlich dünnen Schicht von nicht sehr fest anhängenden Bleitheilchen besteht, die sich durch bloßes Reiben mit den Fingern hinwegwischen lassen. Das Gegentheil findet beim essigsauren Kupfer statt; in diesem Falle ist die negative Figur die ausgezeichnetste und am festesten haftende.

Es läßt sich in dieser Hinsicht kein allgemeines Gesetz aufstellen; bald ist die eine, bald die andere Figur die deutlichere oder es fehlt eine oder beide. Sobald indessen sich nur eine Figur ausbildet, so erscheint diese so beschränkt, als ob ihr die andere zur Seite stände, was anzudeuten scheint, daß eine wirkliche, aber nur nicht sichtbare Modification des Metalles neben ihr allerdings stattfinde.

Fechner ***) hat gefunden, daß schon mittelst der einfachen Kette sehr nette, alle Kennzeichen der Nobili'schen an sich tragende Figuren hervorgerufen werden können. Derselbe giebt zur Herstellung derselben folgende Anweisung.

Man legt ein Silber- oder Platinblech in essigsaure Kupferauflösung oder Kupfervitriollösung und berührt es mit einer Zinkspitze: sofort bilden sich um diese Spitze concentrische, abwechselnd helle und dunkle Ringe auf dem Bleche. Was diese Erscheinung besonders interessant macht, ist, daß, wenn man das Blech nur ein Paar Secunden mit der Zinkspitze berührt hat und letztere dann zurückzieht,

---

*) Bibl. univ. T. XXXV. p. 261. Poggend. Ann. Bd. XXXIII. S. 537.

**) Schweigg. Journ. Bd. LIII. S. 441. oder Poggend. Ann. Bd. XXXIII. S. 544.

***) Schweigg. Journ. Bd. LV. S. 442.

die Entwickelung der Erscheinung dann noch weiter fortschreitet, indem die Ringe, namentlich die inneren, sehr intensive Farbenabstufungen durchlaufen, zuletzt aber bei mehreren Abwechselungen von Blau und Rostgelb stehen bleiben. Etwas anders geartete Ringe kann man erhalten, wenn man die Zinkspitze dem Silber- oder Platinbleche auf eine kleine Weite innerhalb der Flüssigkeit gegenüber hält ohne es damit zu berühren, und sie plötzlich mittelst eines Drahtes mit einem außerhalb der Flüssigkeit hervorragenden Theile des Bleches in Verbindung setzt. Bringt man das Blech mit den Figuren in salzsaures Wasser, so werden die farbigen Ringe sofort kupferroth, dann weiß, und verschwinden bald gänzlich. Letzteren Versuch kann man gewissermaßen mit ersterem zugleich verbinden, wenn man der Kupferauflösung etwas Säure beimischt. In diesem Falle erhalten sich die farbigen Ringe nur so lange auf dem Bleche, als die Zinkspitze darauf wirkt. Entfernt man sie, so äußert die Säure sofort ihren Angriff auf die Ringe und sie verschwinden von Außen herein nach der Mitte zu.

Elsner *) wendete Fechner's einfaches Verfahren auf Stahlplatten an. Er begoß diese mit essigsaurem Kupfer, berührte sie an verschiedenen Stellen mit einem Zinkstäbchen, trocknete sie ab und erwärmte sie über einer Weingeistlampe, wobei sich verschiedene Farben nach und nach entwickeln, und man bei einer beliebigen Farbe einhalten kann.

Böttger gelang es, Nobili'sche Figuren auf Platin zu erhalten aus verschiedenen Manganoxydulsalzen (hippursaurem, essigsaurem, bernsteinsaurem), wobei die am positiven Pole angebrachte Platinplatte in die Lösung gelegt und die negative, ebenfalls kreisförmige Platte ihr gegenüber gehalten wurde. Daß auch der negative Pol in eine Platte endige, sei aber nicht nöthig; man erhalte mit den genannten Salzen nur einfarbige, nach und nach die Farbe wechselnde Töne, wenn auch nur ein Platindraht angewendet werde, und könne den Versuch bei einer beliebigen Farbe unterbrechen. Nur Manganchlorür gab farbige Ringe, wie essigsaures Blei. Böttger nahm bei seinen Lösungen 1 Theil Salz auf 12 bis 16 Theile Wasser und eine Säule aus vier Elementen. Zur bequemeren Ausführung giebt er an, man solle einen kurzen Platindraht in die Mitte einer runden Platinplatte löthen und eine Glasschale in der Mitte durchbohren, den Draht hierauf durch diese mit einem Korke versehene Oeffnung führen, so daß er kurz über den äußeren Boden der Schale hervorrage und die Platinplatte in der Mitte des inneren Bodens liege. Die Glasschale solle dann auf ein Brett mit eingebohrtem Quecksilbernapf gestellt werden, in welchen der Draht der Schale und durch das Brett ein anderer Draht reiche, um so den positiven Strom einzuleiten.

Becquerel **) wiederholte Nobili's Versuche auf mannigfaltige Weise und fand namentlich prachtvolle Farbenniederschläge auf verschiedenen Metallen, wobei er diese als positive Pole in eine Lösung von Bleiglätte in Aetzkali brachte und als negativen Pol einen Platindraht oder eine kleine Platinplatte anwandte. Es scheidet sich am Platin, Blei und am positiven Pole Bleihyperoxyd ab, welches die prächtigen Farbenreihen giebt. Becquerel kochte die fein gepulverte Blei-

---

*) Dingler's Journ. Bd. LXXXV; Gewerbeblatt für sich Sachsen 1842. Nr. 29.
**) Dingler's Journ. Bd. XCI; aus Compt. rend. Fewrier 1844. No. 6. p. 449; vergl. auch Journ. für praktische Chemie. Bd. XXXIII. S. 65.

glätte längere Zeit in einer Aetzkalilösung von 20—22 Grad Baumé und nahm sechs Daniell'sche Elemente zur Säule verbunden. Die Farben entwickeln sich bei schwächeren Lösungen und weniger Elementen schon sehr schnell, wenn man kleine Platinbleche anwendet; nur bei ganz feinen in Glas bis an die Spitze eingeschmolzenen Platindrähten sind mehr Elemente nöthig; man erhält aber dabei auch die Ringe schöner rund.

Durch Anwendung vieler nach Wollaston's Angabe äußerst fein ausgezogener und in ein Glasrohr eingeschmolzener Platindrähte, die wie Strahlen aus der Glasröhre aus einander und gegen die positive Metallplatte laufen, will Becquerel gleichförmige Töne erhalten haben. Diese Farben halten sehr fest gegen feinere Putzmittel, wie Englischroth; verändern sich aber, wenn sie sauren oder ammoniakalischen Dämpfen ausgesetzt sind. Es wird daher folgender Firniß empfohlen, von den man warm nach einander zwei Schichten auftragen soll: $1/2$ Litre Leinöl, 4 — 8 Gramm fein gepulverte Bleiglätte und 2 Gramm Zinkvitriol werden mehrere Stunden lang mäßig erhitzt und dann filtrirt. Nach Becquerel's eigner Angabe verändern sich jedoch hierbei einzelne Farben. Bei Schellackfirniß tritt Dasselbe ein. Becquerel hat Versuche mit Gold, Kupfer, Platin, Argentan, Stahl angestellt; Silber gab keine schönen Farben. Auch auf Glockenmetall gelingen die Ringe sehr gut; Zinn jedoch muß vorher vergoldet werden, wiewohl dies nur sehr dünn zu sein braucht.

Ueber die Frage, woher diese Farben rühren, äußert sich Schönbein *) dahin, daß die auf Platin, Stahl und Eisen in Bleizuckerlösung hervorgetretenen Farben nicht in Essigsäure und Sauerstoff, die nach Nobili's Ansicht innig an den metallischen Oberflächen haften sollten, ihren Grund hätten, sondern in einer dünnen Schicht von Bleihyperoxyd, wie schon Faraday **) richtig angenommen habe.

Der Sohn des Herrn Becquerel, Edmond Becquerel ***), hat darauf aufmerksam gemacht, daß die Farbenordnungen, die man bei den Nobili'schen Ringen nach der Methode seines Vaters erhalte, jenen des durchgelassenen Lichtes bei den Newton'schen Ringen entsprechen, und auch behauptet, die Dicke der Schichten vom Mittelpunkte der Ringe aus nehme im umgekehrten Verhältnisse der Halbmesser ab. Zur Nedden ****) bestreitet die Ansicht, als rührten diese Farben überhaupt von den „dünnen Blättchen" her, und will sie von den Farben der niedergeschlagenen Verbindungen und der Metalle ableiten. Allein, wenn man auch den Einfluß dieser beiden Ursachen auf den Ton der einzelnen Farben nicht bestreiten will, so sind die Farbenordnungen, wie man sie z. B. auf Argentan erhält, verglichen mit jenen eines keilförmigen Gypsblättchen, doch ganz unzweifelhaft jene, die man bei gekreuzten Spiegeln des Polarisationsapparates erhält.

Gegen die Behauptung des jüngeren Becquerel, obgleich dieser seine theoretischen Betrachtungen durch Messungen an zwei ausgesuchten Platten bestä-

*) Poggend. Ann. Bd. XL. S. 621.
**) Phil. Magaz. Maerz 1837.
***) Ann. de Chim. et de Phys. Janvier 1845. III. Ser. T. XIII. p. 342; Dingler's Journ. Bd. XCVI.
****) Dingler's Journ. Bd. XCIV.

tigt gefunden haben will, sind Du Bois-Reymond und Lenz *) aufgetreten. Sie bestätigen, daß die Aufeinanderfolge der Farben an den Nobili'schen Ringen von Außen nach Innen derjenigen von Innen nach Außen an den Newton'schen Ringen im durchgelassenen Lichte sehr genau entspricht; aus einer genaueren theoretischen Untersuchung, die sich auf die Ausbreitung des elektrischen Stromes in nicht prismatischen Leitern gründet **), leitet der Erstere das Gesetz ab, daß die Dicken der durch die elektrischen Ströme in verschiedenen Entfernungen von der negativen Spitze niedergeschlagenen Schichten umgekehrt wie die Kuben der Halbmesser sich verhalten müssen, und die Beobachtungen des Zweiten bestätigten, daß dies wirklich so sei. — In beiden Fällen sehen wir das Ergebniß der Theorie durch die Beobachtung bestätigt; der Widerspruch ist noch nicht gelöst. Du Bois-Reymond meint, der von Becquerel wahrgenommene Einklang der Beobachtung mit der Rechnung könne schwerlich auf etwas Anderem beruht haben, als auf einem ziemlich unerklärlichen Spiele des Zufalls.

Die prachtvollen Farben, welche die Nobili'schen Ringe zeigen, werden bereits in den Gewerben benutzt zum Ueberzuge von Tischglocken, Fidibusbechern und anderen kleinen aus Messing gepreßten Waaren. Das technische Verfahren ist folgendes: Man bereitet die Bleioxydätzkalilösung aus 1 Th. Aetzkali auf 5 bis 6 Th. Wasser, bringt es nebst fein gemahlener Bleiglätte im Ueberschuß in einem irdenen Gefäße ins Kochen und unterhält dieses etwa 1/2 Stunde lang unter beständigem Umrühren, worauf die Lösung filtrirt und in einem wohl verschlossenen Gefäße aufbewahrt wird. Beim Gebrauche gießt man die Lösung in ein Gefäß von Blei oder Messing, das den zu überziehenden Gegenstand sehr bequem fassen kann, verbindet diesen mit dem positiven Pole einer dreipaarigen Daniell'schen Kette, senkt ihn in die Bleilauge und verbindet jetzt erst den negativen Pol mit der Außenseite des Gefäßes. Man muß die Stromstärke mittelst der Ladungsflüssigkeiten durch einige Versuche so reguliren, daß die Bildung der Ringe — wovon übrigens gewöhnlich nur die zwei ersten Systeme schön entwickelt werden — etwas langsam geschieht, damit man sicherer bei einer bestimmten Färbung den Strom unterbrechen kann. Messingene Gefäße machen hierbei in sofern eine Ausnahme, als sie nur nach und nach mit dem scharfen Rande voraus in die Lösung bei schon geschlossener Kette gesenkt werden dürfen, wie schon Becquerel bemerkt hatte. Alle Gegenstände müssen rein geputzt sein, entweder mit Wienerkalk oder mit Englischroth, und dürfen nach dem Putzen nicht mehr mit den bloßen Fingern berührt werden. Die Gegenstände dann noch mit Firniß zu überziehen, ist nicht erforderlich und geschieht auch gewöhnlich nicht. H. E.

Farbenringe Priestley's sind Figuren analog den Farbenringen Nobili's (s. d. Art.), werden aber durch Frictionselektricität hervorgebracht, während diese durch Contactelektricität entstehen ***).

Nachdem Priestley eine Batterie von 40 Quadratfuß Belegung zwischen

*) Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 71.

**) Poggend. Ann. Bd. LXIV. S. 497; Bd. LXVII. S. 344; und Bd. LXIX. S. 161.

***) Philos. transact. T. LVIII. p. 68—74; Schweigg. Journ. Jahrg. 1827. Bd. II. S. 166; Priestley's Geschichte. S. 432; Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXIV. p. 292.

zwei Knöpfen von polirtem Kupfer oder durch ein Zinnblatt entladen hatte, bemerkte er auf der Oberfläche einen ziemlich großen kreisförmigen Fleck, dessen Mittelpunkt geschmolzen war und der von einer großen Anzahl von Punkten gebildet wurde, die um so größer waren, je näher am Mittelpunkte sie lagen. Jenseit dieses Fleckes fand sich ein schwarzer Staub, welcher nicht anhing, dann ein ganzer Kreis glänzender Punkte, die aus oberflächlich geschmolzenen Theilen, ähnlich denen in der Mitte, bestanden. Aehnliche Flecke wurden auf polirten Platten von Blei und Silber hervorgebracht, nur daß beim Silber der mittlere Fleck aus vom Mittelpunkte gewissermaßen ausstrahlenden Punkten bestand. Durch das Mikroskop betrachtet erschienen die glänzenden Punkte des Mittelflecks und die des äußeren Kreises als ebenso viele kleine Höhlungen. Auf einer Goldplatte bemerkte man außer den Höhlungen kleine aus der Schmelzung des Metalles entstandene hohle Metallkügelchen. Priestley fand, daß die Höhlungen auf verschiedenen Metallen mehr oder weniger tief waren nach folgender Ordnung: Zinn, Blei, Messing, Gold, Stahl, Eisen, Kupfer, Silber. Bei Wismuth und Zink verhielten sie sich ungefähr wie beim Eisen. Er brachte es auch dahin zwei und sogar noch mehrere concentrische Kreise zu erhalten, wenn er den Schlag einer Batterie von 38 Quadratfuß mit einem Stücke Zinn anwandte. Der zweite Kreis befand sich in demselben Abstande vom ersten, wie dieser vom Mittelflecke, und war aus sehr feinen Punkten zusammengesetzt. Als er bei dem Versuche eine schmelzbare Legirung anwendete, erhielt er drei concentrische Kreise, wobei der äußerste Kreis von dem mittleren nicht genau ebenso weit abstand, wie dieser vom Mittelflecke. Als er an die Stelle der Metallplatten ein Stück Kohle brachte, so schien dieses geschmolzen und in kleine Häufchen gesammelt in einem Raume von der gewöhnlichen Größe eines kreisförmigen Fleckes. Mit einem Stück Reißblei erhielt er weder geschmolzene Theile, noch einen kreisförmigen Fleck, aber statt dessen eine gelbe Substanz, wie Schwefel, aus der sich ein widerlicher Geruch entwickelte. Läßt man die Batterieschläge aus einer feinen Spitze, z. B. aus einer Nadel, auf eine ebene Metallscheibe überschlagen, so zeigen die concentrischen Ringe die schönsten prismatischen Farben. Je kleiner der Abstand der Spitze von der Fläche ist, desto schneller entstehen die Farben; auch liegen die Ringe in diesem Falle näher an einander, als wenn der Abstand größer ist. Je feiner die Spitze ist, desto mehr Ringe bilden sich; bei einer stumpfen Spitze entstehen weniger aber breitere Ringe. Bei einem Versuche mit einer Stahlplatte, wobei die Nadelspitze nur $^2/_{25}$ Zoll abstand und die Batterie 21 Quadratfuß Belegung hatte, bemerkte Priestley zuerst eine dunkelrothe Färbung um den Centralfleck, nach 4 bis 5 Entladungen konnte er schon eine kreisförmige Stelle von ausgezeichnet blaßrother Färbung unterscheiden, die sich bei fortgesetzten Entladungen mit Ringen von allen Farben anfüllte und an den äußeren Rändern bräunlich wurde. Nach neuen Entladungen bildete sich ein zweiter concentrischer Ring von gleicher Färbung, und nach 30 bis 40 Entladungen zeigten sich drei deutliche Ringe zusammen von einem Durchmesser von $^3/_4$ Zoll. Bei noch mehr Entladungen verloren die Farben an Schönheit und Reinheit. Ob aus der Spitze die positive oder negative Elektricität in die Platte übergeht, macht keinen Unterschied.

Nobili *) wiederholte diese Versuche mit einer Batterie von 14 Quadratfuß

---

*) Bibl. univ. T. XXXVIII. p. 31. Schweigg. Journ. Jahrg. 1828. Bd. III. S. 69.

Belegung. Seine Farbenringe hatten 2 bis 3 Linien Durchmesser; der Mittelpunkt war etwas ausgehöhlt und mit Punkten und Metallkörnern übersäet. Nur auf Kupfer war ein deutliches Farbenspiel wahrnehmbar, auf Stahl, Silber und Platin traten die Farben nur schwach hervor.

Pfaff *) erhielt mit einer Batterie von 16 Quadratfuß Belegung nach 60 Schlägen farbige Ringe im Durchmesser von reichlich 3 Linien. In der Mitte war eine kleine Vertiefung, um diese ein brauner Fleck wie von Kupferoxyd, dann ein Ring von sehr schwachen prismatischen Farben, der von einem schmalen Ringe von sehr schönen prismatischen Farben eingeschlossen war, und zwar von innen nach außen blau, purpur, orange und gelb; dann kam ein Ring von reinerem Metallglanze, den ein etwas breiterer Ring mit sehr schwachen prismatischen Farben umschloß.

Matteuci **) brachte analoge Flecke hervor schon durch sehr schwache elektrische Funken. Er stellte eine Daguerre'sche Platte vor einen an dem Conductor der Electrisirmaschine befindlichen Messingknopf und erhielt bereits nach drei bis vier Umgängen einen kreisrunden Fleck von schwärzlicher Farbe und von einer Größe, welche der Grundfläche des von dem Funken gebildeten Lichtkegels zu entsprechen schien. Läßt man fortwährend Funken überspringen, so breitet sich der Fleck aus, wird in der Mitte weiß und unter der Loupe erkennt man Kreise von prismatischen Farben, welche ihn umgeben. Nur mit verdünnter Salpetersäure und concentrirter Ammoniakflüssigkeit konnte der Fleck von der Platte entfernt werden.

Wenn gleich diese Priestley'schen Ringe mit den Nobili'schen in dem äußeren Ansehen einige Analogie zeigen, so folgt doch schon aus ihrer Entstehungsart, daß sie mit diesen nicht identisch sind. Sie haben ihren Ursprung in den durch die erhitzende Kraft der Elektricität glühend gewordenen Theilchen der Entladungsplatte. Die Vertiefung in der Mitte zeigt eine Veränderung in der mechanischen Lagerung der Metalltheile und in den hierbei entstandenen dünnen Blättchen möchte die Ursache der Farbenerscheinung zu suchen sein. Nimmt man jedoch an, daß die Metallflächen von da, wo die elektrischen Funken überspringen, eine Oxydation erleiden, so daß eine dünne scheibenförmige Oxydschicht entsteht, deren Dicke von der Mitte der Entladung gegen den Rand hin stetig zunimmt, so würde allerdings eine vollkommene Analogie zwischen diesen und den Nobili'schen Ringen bestehen. H. E.

Farbenzerstreuung, s. Brechbarkeit und Farbe.

Faserstoff, animalischer und vegetabilischer, s. Fibrin und Pflanzenfaser.

Fata Morgana, s. Luftspiegelung.

Fatisciren, s. Verwittern.

Federharz, s. Kautschuck.

Fernrohr, Fernglas, Teleskop (v. d. griech. Adverb. τῆλε, in die Ferne, und σκοπέω, ich sehe, — lat. tubus opticus, telescopium, conspicillum, conspicillum tubulatum; franz. lunette, lunette d'approche; engl. the telescope)

*) Gehler's Phys. Wörterb. N. Bearb. Bd. VIII. S. 546.
**) Compt. rend. T. XVI. p. 850; Poggend. Ann. Bd. LX. S. 159.

ist ein Instrument, welches entfernte Gegenstände dem Auge scheinbar näher rückt und dadurch vergrößert zeigt. Im Allgemeinen besteht dasselbe aus einer Combination oder Zusammenstellung von zwei oder mehreren Glaslinsen in einer Röhre, oder auch aus einer solchen von Glaslinsen und Spiegeln *). Man theilt die Fernröhre hiernach ein in dioptrische, welche nur aus Linsen bestehen, und in katoptrische, welche aus Linsen und Spiegeln zusammengesetzt sind (v. d. griech. ὄπτω, ich sehe, und den Präpositionen διά und κατά). Große dioptrische Fernröhre werden Refractoren (Lichtbrecher), große katoptrische Reflectoren (Zurückwerfer) genannt. Ein Tubus (Rohr) ist ein dioptrisches Instrument von mittlerer Größe; ganz kleine heißen Perspective (Durchseher). Jedes Fernrohr hat zwei wesentliche Theile, nämlich ein Ocular (v. d. lat. oculus, das Auge), welches beim Gebrauche gegen das Auge des Beobachters gewendet ist, und ein Objectiv (v. d. lat. objectum, der Gegenstand), welches gegen den zu beobachtenden Gegenstand gerichtet wird. Die Beschaffenheit des Objectivs macht den Unterschied zwischen den dioptrischen und dem katoptrischen Fernrohre, indem das Objectiv des ersteren eine Convexlinse, das des letzteren ein Hohlspiegel ist.

Geschichtliches in Beziehung auf die Erfindung des Fernrohres.

Da das Fernrohr uns Gegenstände erkennen läßt, welche unserem unbewaffneten Auge für immer verborgen geblieben wären, und uns somit neue, unzählbare Welten aufschließt, so gehört die Erfindung desselben ohne Zweifel zu den schönsten und bewunderungswürdigsten des menschlichen Geistes. Mit der Erfindung dieses Instrumentes beginnt eine unvergeßliche Epoche in der Geschichte der Optik und der Astronomie.

Aus den verschiedenen Nachrichten über die ersten Fernröhre geht hervor, daß man nicht durch theoretische Untersuchungen, sondern durch zufällige Versuche auf die Construction derselben gekommen ist; überhaupt wird wohl nie mit Gewißheit ausgemacht werden, wer der erste Erfinder gewesen ist, denn mehrere machen darauf nicht unbegründete Ansprüche.

Die Nachrichten aus früheren Zeiten, nach welchen man durch ein Rohr Sterne beobachtet habe, können füglich übergangen werden, da diese Röhren sicher ohne Gläser waren und nur die Bestimmung hatten, das Seitenlicht abzuhalten **).

---

*) Vergl. zu diesem Artikel besonders die Artikel Brechung, Linsenglas, Spiegel und Zurückwerfung.

**) Vergl. Ditmari chronicon Martisburgense, Helmstädter Ausgabe 1665 von Maderus lib. VI. p. 180. — Cysatus de loco, motu, magnitudine et causis cometae, qui sub finem anni 1618 et initium anni 1619 fulsit. Ingolstadii 1619. p. 76. — Mabillonii iter germanicum, im 4. Bande der Veterum analectorum Paris 1685 p. 46; besonders abgedruckt Hamburgi 1717. p. 54. — Ueber Roger Baco vergl. Treatise of dioptricks by William Molyneux. Lond. 1692 p. 256 und Jebb in: Praefatio ad opus majus u. p. 357. Lond. 1733 — Portae magia naturalis, seu de miraculis rerum naturae. Neap. 1558. Lib. XVII. cap. 10. Frankf. 1591, 1597. Hanuoviae 1619. Lugd. Bat. 1644, deutsch Nürnberg 1713. — Frascatorii Homocentrica. Lugd. 1591. Lect. II. cap. 8.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß die Erfindung der Fernröhre nicht vor dem siebzehnten Jahrh. gemacht worden ist, und erst im Anfange des siebzehnten Jahrhunderts erhalten wir sichere Nachrichten von der wirklichen Ausführung in Holland; doch von wem und auf welchem Wege diese Erfindung gemacht worden ist, darüber waren die Meinungen gleich Anfangs getheilt und sind es auch jetzt noch.

Hieronymus Sirturus *), ein geborner Mailänder, erzählt: 1609 sei ein Unbekannter, dem Ansehen nach ein Holländer, zu dem Billenmacher Johann Lippersein oder Lippersheim, auch Laprey genannt, gebürtig aus Wesel, in Middelburg gekommen und habe sich einige erhabene und hohle Gläser schleifen lassen, und als er diese in Empfang genommen, habe er ein erhabenes und hohles bald näher, bald weiter von einander gehalten. Dieses habe sich Lippersheim gemerkt, habe aus einer solchen Verbindung zweier Gläser ein Fernrohr gemacht und es dem Prinzen Moritz von Nassau gezeigt.

Descartes**) erzählt Folgendes: Diese bewunderungswürdige Erfindung hat ihren ersten Ursprung der Erfahrung und dem glücklichen Zufalle zu danken. Vor etwa dreißig Jahren kam ein gewisser Jacob Metius aus Alkmar, der nie studirt hatte, obgleich sein Vater und Bruder Mathematiker gewesen sind, der aber Vergnügen an der Verfertigung von Spiegeln und Brenngläsern fand und daher Gläser von mancherlei Gestalt hatte, auf den Einfall durch zwei dergleichen zu sehen, von denen eines hohl, das andere erhaben vor. Er brachte dieselben an die Enden einer Röhre so glücklich an, daß daraus das erste Fernrohr entstand. — Hiermit stimmt das ziemlich überein, was Prof. Moll in Utrecht in den hinterlassenen Papieren eines seiner Collegen gefunden hat ***). — Dieser Metius hieß eigentlich Jacob Adrianez oder Adriaansz, und Metius war ein Spottname, welchen er sich dadurch zugezogen hatte, daß er sich immer nur mit Messen und Rechnen abgegeben hatte. In einem Manuscripte, welches man nach seinem 1635 erfolgten Tode fand, erzählt er, daß er das Fernrohr 1606 erfunden habe; gesteht jedoch auch, daß 1608 ein Brillenmacher in Middelburg ebenfalls ein solches Instrument zusammengesetzt habe, wie es scheint, ohne von jenem etwas zu wissen. Dieser Brillenmacher war Hans Lippershey, und dieser legte sein Instrument auch noch früher als Metius den Generalstaaten in Holland vor. Auf Veranlassung der Generalstaaten richtete Lippershey ein zweites Fernrohr für beide Augen ein und wurde somit Erfinder des Binoculums, was daher mit Unrecht dem Kapuziner Rheita zugeschrieben wird ****).

Der Brillenmacher Zacharias Joannides (Jansen) aus Middelburg reclamirt die Erfindung des Fernrohrs ebenfalls für sich, und er ist es auch, der von seinen Mitbürgern und Zeitgenossen als der wahre und erste Erfinder desselben betrachtet worden ist. Wilde *****) sucht darzuthun, daß der Letztere das Meiste

---

*) Telescopium. Francof. 1618. p. 24; auch Schott in der Magia univ. nat. et artis p. 491 erzählt dasselbe.

**) Dioptrica 1637. cap. I. p. 41.

***) Journ. of the Royal Institut. of Great Brit. Feb. 1831. Schumacher's Jahrbuch für 1843. S. 57—65

****) Wilde, Geschichte der Optik. 1838. Th. I. S. 171.

*****) a. a. O. S. 138 ff.

für sich habe. Vielleicht ist aber Metius doch der Erfinder, nur konnte er sich, da er später Professor in Franecker wurde, wohl weniger mit der Anfertigung von Fernröhren als Erwerbszweig beschäftigen und wurde daher auch nicht so bekannt als Lippersheim und Jansen.

Peter Borellus *) spricht sich für Jansen aus, und theilt gerichtliche Aussagen mit, nach welchen Jansens Sohn bezeugt, sein Vater habe schon 1590 Fernröhre angefertigt. — Huygens **) versichert auch, daß schon vor Metius um 1609 ein Künstler in Middelburg Fernröhre gemacht habe. — Rheita ***) nennt den Erfinder Joannes Lippersum aus Seeland, und setzt die Zeit der Erfindung in das Jahr 1609. — Weidler ****) beweist, daß schon 1608 Fernröhre aus Holland gekommen sind. — Simon Marius *****) verdient hier auch eine Erwähnung, indem nach ihm bereits 1608 ein Fernrohr auf der Herbstmesse zu Frankfurt am Main zum Verkauf gewesen ist. — Als bemerkenswerth führt v. Zach an †), daß man schon 1609 die Fernröhre in London so zahlreich hatte, daß von einer Auswahl die Rede sein konnte.

Der Italiener und Jesuit Franciscus Fontana ††) machte ebenfalls Ansprüche auf die Erfindung der Fernröhre; auch ein Engländer Diggs †††) wird angeführt. Besondere Erwähnung verdient aber Galilei.

Galilei hörte im April oder Mai 1609 zu Venedig von dem Fernrohre, welches ein Holländer dem Prinzeu Moritz von Nassau überreicht hätte; er kehrte sofort nach Padua, wo er Professor war, zurück und forschte nach, was dies für ein Instrument sein könne. Die folgende Nacht errieth er die Zusammensetzung, machte den Tag darauf sogleich das Werkzeug nach seinem vorläufigen Entwurfe fertig und sah auch, ungeachtet der Unvollkommenheit der Gläser, die er damals zur Hand hatte, seine Erwartung erfüllt. Er gab seinen Freunden in Venedig sogleich Nachricht davon. Sechs Tage nachher reiste er selbst dahin und brachte ein anderes besseres Fernrohr mit, welches er unterdessen gemacht hatte. Er erregte großes Erstaunen. Nachdem er noch einige Verbesserungen an seinem Fernrohre gemacht hatte, schenkte er eins dem Dogen, Leonardo Donati und dem ganzen Rathe von Venedig. Die Republik erhöhte zur Erkenntlichkeit seinen Gehalt als Professor über das Dreifache ††††). Auch Joannes Bartolus nennt in der vom 1. October 1611 datirten Vorrede zu einem optischen Tractate des Antonius de Dominis †††††) den Galilei als den Erfinder der Fernröhre;

---

*) De vero telescopii inventore. Hagae-Comitum. 1655. cap. 12—14. auch J. d. Ph. Bd. XCIII. S. 150.

**) Opusc. posth. Lugd. Bat. 1703. p. 136.

***) In dem Oculus Enochi et Eliae, sive Radius sidereo-mysticus. Antv. 1645.

****) Historia astronomiae. Cap. 15. §. 12.

*****) Mundus Jovialis, anno 1609 detectus, ope perspicilli Belgici, Norimb. 1614.

†) De Zach, Correspondence astronomique. T. VII. p. 122.

††) Novae coelestium terrestriumque rerum observationes. p. 7 in der Vorrede.

†††) Hooke experiment, by Derham. p. 258.

††††) Sidereus nuncius. Francof. in Paltheniano 1610; vergl. auch die Vorrede zu Kepler's Dioptrik, desgl. den Briefwechsel Galilei's mit Kepler in der Ausgabe von Hansch; auch Montucla histoire des mathém. T. II. p. 168.

†††††) De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride, Venetiis 1611.

aber für den ersten Erfinder kann man ihn nach seiner eigenen Schilderung *) durchaus nicht halten, gleichwohl ist sein Verdienst viel größer, als das der holländischen Erfinder, die sicher nur durch den Zufall begünstigt wurden, da er durch die Kenntniß der Gesetze der Dioptrik zur Construction gelangte.

Scheiner **) und Montucla ***) setzen Zweifel in Galilei's Worte; wenn er aber auch nicht als der Erfinder des Fernrohres betrachtet werden kann, so hat er doch das unbestreitbare hohe Verdienst, von demselben den richtigen Gebrauch gemacht zu haben. Die Entdeckungen auf der Mondoberfläche, in der Milchstraße, am Jupiter, dessen Monde er erkannte, am Saturn, der ihm wegen der damaligen Stellung des Ringes dreifach erschien, an der Sonne, an der er einige Flecken bemerkte, an der Venus, deren Phasen er beobachtete, folgten schnell auf einander und verursachten viele Bewegungen unter den damaligen Naturkundigen und Astronomen ****).

Als Resultat ergiebt sich also, daß das Fernrohr in Holland in der Zeit von 1606 bis 1609 erfunden worden sei. Wer aber das erste Fernrohr verfertigt habe, ob es Metius, Jansen oder Lippersein gewesen ist, wird wohl nie mit Bestimmtheit ausgemacht werden können, wie ja auch schon Huygens *****), welcher der Zeit der Erfindung so nahe lebte, es nicht zu entscheiden wagt. Weil aber Sirturus behauptet, daß Lippersein das nur nachzuahmen gesucht habe, was ein anderer bereits kannte, so bleibt also die Wahl nur zwischen Metius und Jansen.

Eine Zusammenstellung der Originalstellen, auf welche hier Bezug genommen ist, geben Wilde †) und Kruhl ††).

Die dioptrischen Fernröhre. Soll ein Fernrohr (oder auch ein anderes aus Glaslinsen zusammengesetztes Instrument) vollkommen sein, so müssen die Gläser so mit einander verbunden sein, daß ihre Axen in derselben geraden Linie liegen, oder, mit anderen Worten, die Mittelpunkte aller der Kugelflächen, von denen die Linsen Abschnitte sind, so wie die Brennpunkte müssen diese Lage haben. Die Axe des Fernrohres ist diese gerade Linie, und haben die Gläser eines Fernrohres diese Stellung erhalten, so sagt man, dasselbe sei richtig centrirt. Jedes Glas muß eine genau bestimmte Brennweite haben; die Oeffnung oder Apertur (v. d. lat. aperire, öffnen) der Gläser muß in richtiger Proportion stehen †††); um den störenden Einfluß fremden, nicht von dem betrachteten Gegenstande herkommenden Lichtes aufzuheben, müssen Objectiv und Ocular an den Enden einer Röhre angebracht sein; zwischen den Gläsern sind an bestimmten Stellen ringförmige Scheiben mit kreisförmigen Oeffnungen, sogenannte Blendungen oder Diaphragmen, anzubringen, die ihrer Seits einen bestimmten Durchmesser haben müssen; selbst dem Auge ist seine Stelle ganz genau anzuweisen.

---

*) Sidereus nuncius. Francof. p. 9.
**) Rosa Ursina. Bracciani 1630. p. 130.
***) Histoire des mathém. T. II. p. 169.
****) Vergl. Sidereus nuncius.
*****) Opera reliqua. Amstelod. 1758. Vol. II. diopt. p. 125.
†) Geschichte der Optik. Berlin 1838. Th. I. S. 138—172.
††) Jahresbericht des Gymnasiums zu Leobschütz. 1843.
†††) Hugenii opuscul. posth. Lugd. Bat. 1703.

Ueber die Wirkung der **Linsengläser** ist der betreffende Artikel zu vergleichen; hier erwähnen wir nur, daß jedes Linsenglas ein Bild des Gegenstandes hervorbringt, von welchem es Licht empfängt, daß aber dieses Bild bald vor, bald hinter dem Glase, bald in unendlicher Ferne liegen kann. Insbesondere erhält man bei jedem converen Glase von einem **entfernten** Gegenstande ein Bild hinter demselben in der Entfernung des Brennpunktes. Stellt man nun in diesem besonderen Falle ein zweites Linsenglas so auf, daß seine Axe mit der der converen Linse zusammenfällt, so vertritt im Allgemeinen das durch das erste Glas erzeugte Bild die Stelle eines Gegenstandes für das zweite; es fragt sich nur, wie der Erfolg ist nach den verschiedenen Entfernungen, in denen das zweite Glas von dem ersten steht.

A. Ist das zweite Glas weiter entfernt von dem ersten als das durch dieses erzeugte Bild, steht das zweite Glas also außerhalb der Brennweite des ersten; so wirkt das Bild genau so wie ein Gegenstand. Man hat daher folgende Fälle zu unterscheiden:

a) Das zweite Glas sei eine **convexe** Linse und stehe
   1) so, daß das Bild in seinem Brennpunkte sich befindet; dann erhält man hinter dem zweiten Glase ein Bild in unendlicher Entfernung, oder die Strahlen, welche von einem Punkte des als Object dienenden Bildes ausgehen, werden parallel;
   2) weiter ab; so erhält man ein Bild hinter demselben in einer in Beziehung zu dem ersten Bilde umgekehrten Stellung und um so kleiner und näher, je weiter das zweite Glas absteht;
   3) näher an dem Bilde, so daß dieses innerhalb der Brennweite desselben sich befindet; dann wirkt dasselbe wie eine Loupe und giebt ein vergrößertes Bild des Bildes in derselben Stellung, welche dieses hat, und zwar vor dem zweiten Glase.

b) Das zweite Glas sei eine **concave** Linse, so erhält man durch dasselbe ein verkleinertes Bild von dem als Object dienenden Bilde in derselben Stellung und vor dem zweiten Glase.

B. Ist das zweite Glas nicht so weit entfernt von dem ersten als das durch dieses erzeugte Bild, würde also dies Bild hinter dem zweiten Glase eigentlich stehen, und ist

a) das zweite Glas eine **convexe** Linse; so erhält man ein kleineres Bild in geringerer Entfernung, als das erste ohne das eingeschobene Glas eingenommen haben würde, und in derselben Stellung, wie das erste.

b) Ist das eingeschobene Glas ein **concaves**, so sind, wie vorher bei dem converen drei Fälle zu unterscheiden:
   1) Steht dasselbe so, daß das Bild in seinem hinteren negativen Brennpunkte stehen würde; so erhält man in unendlicher Entfernung ein Bild, oder die Strahlen, welche nach einem Punkte des Bildes hingegangen sein würden, werden parallel.
   2) Würde das Bild sich noch außerhalb der hinteren negativen Brennweite des eingeschobenen Glases befinden; so gehen die Strahlen so durch, als kämen sie aus einem Bilde, welches vor der vorderen Brennweite liegt, gegen das erste Bild eine umgekehrte Stellung hat und um so

größer und entfernter erscheint, je näher das durch das erste Glas erzeugte Bild an dem hinteren Brennpunkte gestanden haben würde.

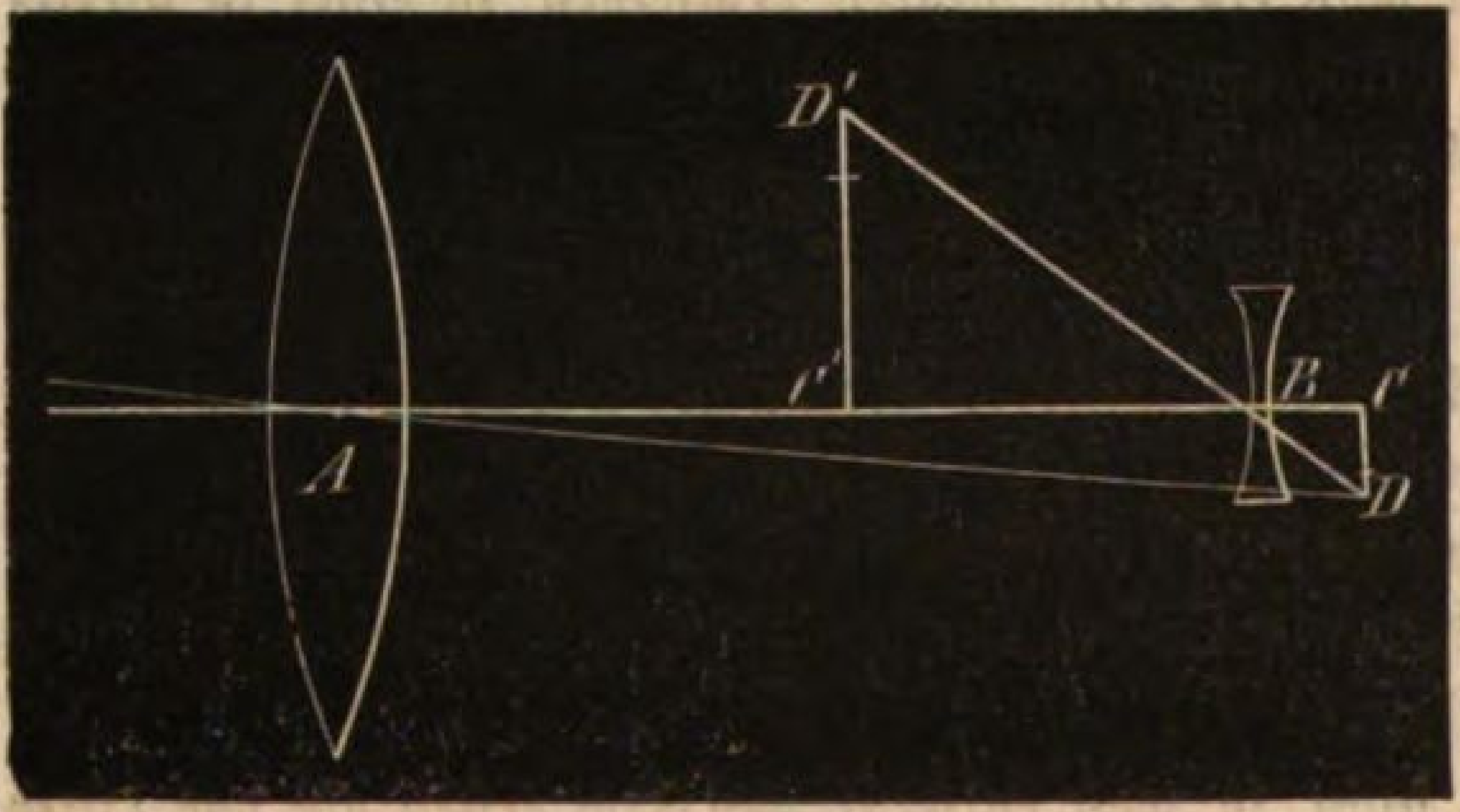
3) Steht das eingeschobene Glas so, daß das Bild innerhalb der hinteren Brennweite gestanden hätte; so entsteht ein größeres und entfernteres Bild hinter dem Glase in gleicher Stellung mit dem ersten Bilde.

I. Das holländische oder Galilei'sche Fernrohr (lat. tubus batavus oder Galilaeanus; franz. telescope hollandais oder lunette de Galilée; engl. dutch telescope oder Galileo's telescope).

Es besteht dies Fernrohr außer dem converen Objective nur noch aus einem concaven Oculare, und ist das letztere in einer solchen Entfernung hinter dem ersteren angebracht, daß das durch das Objectiv erzeugte Bild noch hinter den hinteren Brennpunkt des Oculars zu stehen kommen würde, so daß also beide Gläser höchstens um den Unterschied der beiden Brennweiten aus einander stehen. Wir haben also hier den unter B. b. 2. angeführten Fall.

Da das durch das Objectiv erzeugte Bild den Gegenstand in umgekehrter Stellung zeigt, das concave Ocular aber die Stellung des Bildes ebenfalls umkehrt; so erblickt man den Gegenstand in seiner natürlichen Stellung.

Der scheinbare Durchmesser wird hierbei so viel mal vergrößert, als die Brennweite des Oculars in der Brennweite des Objectivs enthalten ist. Ist nämlich (s. beistehende Figur) in A das Objectiv- und in B das Ocularglas, so wird das Bild, welches in CD entstehen würde, durch das Ocularglas gestört, und das Auge erblickt, wenn BC größer als die Brennweite des Oculars ist, das Bild C′D′. Nun ist CD = BC . tgs. CBD und auch = AC . tgs. CAD; folglich ist die Vergrößerung des scheinbaren Durchmessers



$$= \frac{\text{tgs. CBD}}{\text{tgs. CAD}} = \frac{\text{AC}}{\text{BC}}.$$

Je näher CD an dem Brennpunkte des Ocularglases stehen würde, je kleiner also BC wäre, desto stärker müßte die Vergrößerung werden; da aber BC nicht kleiner als die Brennweite des Ocularglases sein darf, so kann man als Minimum für BC höchstens die Brennweite nehmen, und erhält mithin den angegebenen Werth, da AC die Brennweite des Objectivglases ist.

Das Gesichtsfeld (der Raum, den man auf einmal durch das Fernrohr übersieht und dessen Maß der Winkel ist, unter welchem das unbewaffnete Auge denselben Raum sehen würde) ist bei dem holländischen Fernrohre stets sehr klein. Durch das Ocularglas nämlich werden die hindurchgehenden Strahlen zerstreut; sollen nun möglichst viele Strahlen in das Auge gelangen, also durch die Pupille

hindurchgehen, so muß dieses möglichst nahe an das Ocularglas herangebracht werden. Es wird mithin das Gesichtsfeld schon verkleinert, wenn das Auge weiter von dem Oculare entfernt wird; aber auch bei möglichst genähertem Auge ist die Größe desselben eine beschränkte, weil die Strahlen divergiren. Sind f und f′ die respectiven Brennweiten für das Objectiv und Ocular, so würde die günstigste Stelle für das Auge sein in einer Entfernung von dem Ocular $= -(f + f')\frac{f'}{f}$, mithin vor dem Ocular, wo natürlich das Auge nicht sein kann. Da die Vergrößerungskraft jedes Fernrohres nur auf Kosten der Größe des Gesichtsfeldes erhöht werden kann, so ergiebt sich hieraus, daß dies Fernrohr auch nicht auf eine bedeutende Vergrößerung eingerichtet werden kann. Galilei machte z. B. seine Entdeckung der Jupitersmonde mit siebenmaliger Vergrößerung und wendete überhaupt nie eine stärkere als zweiunddreißigmalige an. Es wird daher im Großen nicht mehr viel Anwendung von demselben gemacht, und man bedient sich desselben am häufigsten noch mit höchstens fünfmaliger Vergrößerung als Theater- und Taschenperspectiv.

II. Das astronomische Fernrohr (lat. tubus astronomicus seu coelestis; franz. lunette astronomique; engl. astronomical telescope).

Dies von Kepler*) erfundene Fernrohr besteht außer dem convexen Objective nur noch aus einem ebenfalls convexen Oculare, und ist das letztere in einer solchen Entfernung hinter dem ersteren angebracht, daß das durch das Objectivglas erzeugte Bild noch innerhalb der vorderen Brennweite des Oculars sich befindet, so daß also beide Gläser höchstens um die Summe der beiden Brennweiten aus einander stehen. Wir haben also hier den unter A. a. 3. angeführten Fall.

Da das durch das Objectiv erzeugte Bild den Gegenstand in umgekehrter Stellung zeigt, das convexe Ocular aber die Stellung dieses Bildes nicht ändert; so erblickt man den Gegenstand selbst in umgekehrter Stellung.

Der scheinbare Durchmesser wird hierbei sovielmal vergrößert, als die Brennweite des Oculars in der Brennweite des Objectivs enthalten ist. Ist nämlich (s. beistehende Figur) in A das Objectiv- und in B das Ocularglas, so entsteht von einem entfernten Gegenstande das Bild CD nahe am Brennpunkte C; dies durch das Ocularglas in B betrachtet giebt das Bild C, D, in der Entfernung des deutlichen Sehens, da B wie eine Loupe wirkt. Das Auge in A



*) Dioptrice, s. demonstratio eorum, quae visui et visibilibus propter conspicilla nuper dedecta accidunt. August. Vind. 1611. Prop. 86.

würde denselben Gegenstand unter dem Winkel DAC sehen, das in B aber unter dem Winkel CBD. Nun ist DC = AC . tgs. DAC und auch = BC . tgs. CBD; die Vergrößerung ist daher

$$= \frac{\text{tgs. CBD}}{\text{tgs. DAC}} = \frac{\text{AC}}{\text{BC}}.$$

Je entfernter der Gegenstand ist, desto mehr ist AC der Brennweite des Objectivs gleich, und ebenso kann man BC gleich der Brennweite des Oculars setzen, wie bei einer Loupe; es ergiebt sich also der angegebene Werth.

Im Vergleiche mit dem Galilei'schen Fernrohre hat das astronomische den Nachtheil, daß es die Gegenstände verkehrt zeigt, dagegen den großen Vortheil, daß es ein weit größeres Gesichtsfeld hat, und darum auch auf eine viel bedeutendere Vergrößerung eingerichtet werden kann; denn ein Auge erhält von allen Strahlenkegeln, welche durch das Fernrohr gehen, da die Strahlen durch das Ocular convergirend und nicht wie bei dem galileischen divergirend gemacht werden, Licht, wenn es auch nicht so nahe an dem Ocular steht, als bei dem galileischen Fernrohre erforderlich ist. Haben f und f' dieselbe Bedeutung, wie bei dem Galilei'schen Fernrohre, so erhält man für die günstigste Stelle des Auges eine Entfernung vom Oculare $= (f + f') \frac{f'}{f}$, also der Größe nach dieselbe, aber positiv, so daß das Auge diese Stelle wirklich einnehmen kann. — Wie schon der Name andeutet, bedient man sich dieses Fernrohres namentlich zu astronomischen Beobachtungen und ist daher bei Construction desselben sorgfältig bemüht, eine möglichst starke Vergrößerung zugleich mit möglichster Deutlichkeit des Bildes vereint hervorzubringen. Für dasselbe Objectiv bringt man, um verschiedene Vergrößerungen zu erzielen, öfters verschiedene Oculare an. Daß die umgekehrte Stellung des Gegenstandes im Rohre bei astronomischen Beobachtungen nicht störend wirken kann, versteht sich von selbst.

III. Das Erdfernrohr (lat. telescopium terrestre).

Dies von Ant. Mar. de Rheita*) erfundene Fernrohr besteht außer dem convexen Objective aus drei convexen Ocularen, welche so gestellt sind, daß, von dem Auge an gezählt, das erste und zweite Ocular als ein astronomisches Rohr angesehen werden können, und ebenso das dritte Ocular mit dem Objective; es ist also eine Verbindung von zwei hinter einander stehenden astronomischen Fernröhren, und indem hierdurch das in dem ersten Rohre umgekehrte Bild durch das zweite abermals umgekehrt wird, erblickt man den Gegenstand in seiner natürlichen Stellung.

Wenn das zweite und dritte Ocularglas gleiche Brennweiten haben, so wird der scheinbare Durchmesser sovielmal vergrößert, als die Brennweite des ersten Oculars in der Brennweite des Objectivs enthalten ist. Es dienen nämlich alsdann das zweite und dritte Ocular nur zur Umkehrung des Bildes, haben auf die Vergrößernng gar keinen Einfluß und es bleibt also in Bezug auf diese nur das Objectiv und erste Ocular übrig, woraus sich dieselbe wie bei dem astronomischen Fernrohre ergiebt.

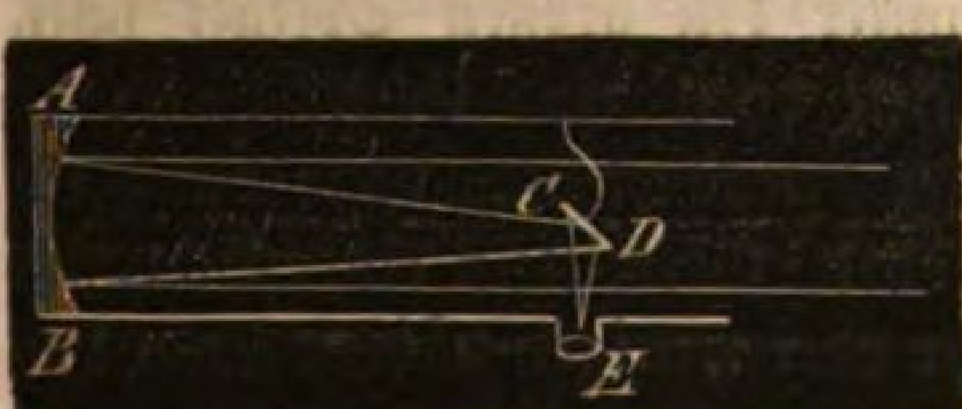
*) Oculus Enochi et Eliae. Antv. 1665.

Die beschränkte Vergrößerung, deren die galilei'schen Fernröhre nur fähig sind, machte für Beobachtungen der Gegenstände auf der Erde die Benutzung der astronomischen wünschenswerth; das Unangenehme die Gegenstände in umgekehrter Stellung durch diese zu erblicken, führte zu der angegebenen Einrichtung des Erdfernrohres, und bis jetzt ist es auch noch in allgemeinem Gebrauche. Da für jedes Objectiv überdieß mehrere Oculare angepaßt werden können, welche verschiedene Brennweiten haben, wodurch man verschiedene Vergrößerungen je nach dem Bedürfnisse erzeugen kann, so läßt sich die Anwendung desselben noch steigern; hierzu kommt noch, daß sich mit demselben, wenn das Objectiv überhaupt die für ein astronomisches Fernrohr nöthige Oeffnung und Vollkommenheit hat, auch astronomische Ocular-Aufsätze verbinden lassen.

Die katoptrischen Fernröhre. Da ein Hohlspiegel von einem entfernten Gegenstande ein kleines umgekehrtes Bild erzeugt, welches nahe an dem Brennpunkte desselben, also vor demselben sich befindet; so liegt es nahe statt eines convexen Objectivglases einen concaven Spiegel zu benutzen, denn es kommt zunächst nur darauf an, ein solches Bildchen sich zu verschaffen.

Bald nach Erfindung des holländischen Fernrohres, bereits im Jahre 1616, suchte auch schon der Jesuit Nicolaus Zucchi ein sich hierauf gründendes Fernrohr zu construiren *). Es ist also Zucchi als Erfinder des Spiegel-Teleskops zu betrachten. — Ein Vorschlag von Mersenne **), nach welchem man zwei parabolische Hohlspiegel, einen größeren und einen kleineren, benutzen sollte, verdient nur eine historische Anführung, da er nicht zur Ausführung gekommen ist. — Im Jahre 1663 trat Jacob Gregory ***) mit der Construction eines Spiegel-Teleskopes auf, wei welcher parabolische und elliptische Spiegel zur Anwendung kommen sollten. Erst 1674 wurde dieser Vorschlag, jedoch mit sphärischen Spiegeln, durch Hooke ausgeführt, nachdem Newton, welchem die von Gregory angegebene Einrichtung bekannt war, schon im Jahre 1668 ein kleines, etwas anders construirtes Teleskop und noch in demselben Jahre ein zweites vollkommneres, aber wie das erste eingerichtetes zu Stande gebracht hatte. — Wodurch die Construction der katoptrischen Fernröhre besonders angeregt und befördert wurde, darüber wird dieser Artikel noch den nöthigen Aufschluß geben.

I. Das Newton'sche Fernrohr. Dies Fernrohr besteht aus einem metallenen Hohlspiegel, welcher auf dem Boden einer Röhre, deren Länge seiner Brennweite gleich kommt, so angebracht ist, daß die polirte Fläche im Innern der Röhre liegt und gegen die Oeffnung derselben gekehrt ist. Der Spiegel sei AB in nebenstehender Fig. In einer Entfernung von dem Brennpunkte, welche ungefähr dem Halbmesser der Röhre gleich ist, steht zwischen dem Brennpunkte und dem Hohlspiegel in der Axe ein kleiner, ebener Metallspiegel CD, der mittelst eines dünnen Armes an der Seite der Röhre befestigt ist. Dieser Spiegel



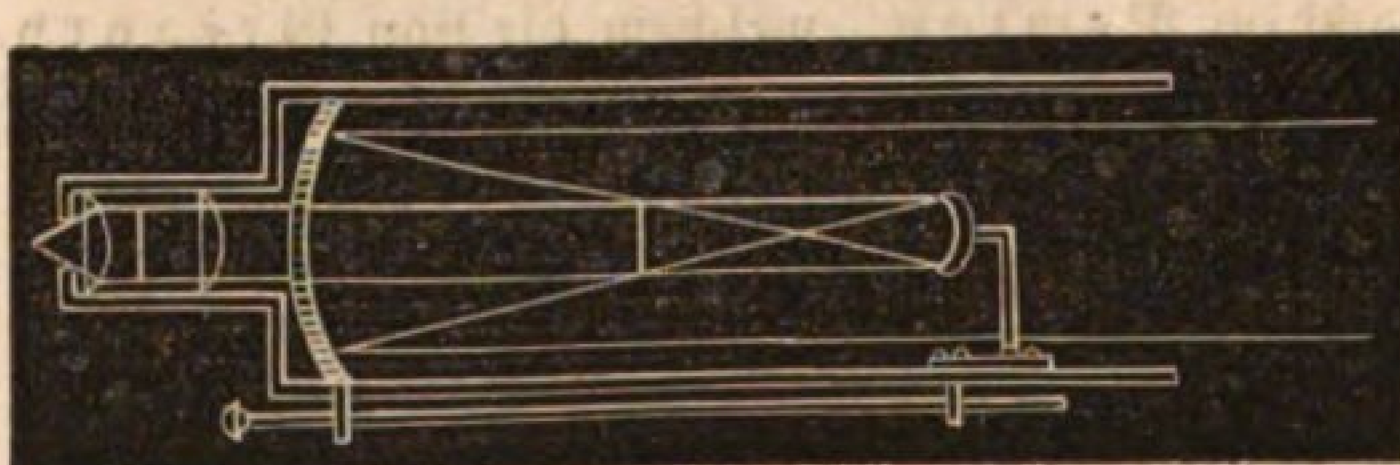
*) Nicolai Zucchii Opera philosophica. Lugduni 1652. T. I. cap. 14. p. 126.
**) Phaenomena hydraulico-pneumatica. Paris 1644. p. 96.
***) Optica promota. 1663. p. 93. seqq.

bildet mit der Axe des Hohlspiegels einen Winkel von 45 Grad, und ihm gegenüber ist in der Seitenwand der Röhre ein kurzes Rohr mit einem convexen Oculare E angebracht.

Wird die Oeffnung dieses Rohres auf einen entfernten Gegenstand gerichtet, so entsteht von diesem, wenn er in der Richtung der Spiegelaxe sich befindet, ein kleines umgekehrtes Bild im Brennpunkte; bei der getroffenen Einrichtung kommt dies Bildchen jedoch nicht zu Stande, sondern das Licht wird von dem kleinen Spiegel gegen das Ocularglas reflectirt, so daß durch dieses das Bild ebenso wie bei dem astronomischen Fernrohre betrachtet wird.

Die Wirkung eines solchen Fernrohres ist der eines astronomischen ganz gleich; auch erblickt man den Gegenstand umgekehrt. Dies Letztere ist ein Uebelstand des Instrumentes bei terrestrischen Beobachtungen; außerdem kommt noch ein zweiter hinzu, nämlich daß man nicht in der Richtung sieht, in welcher der zu betrachtende Gegenstand sich befindet, sondern senkrecht auf diese, wodurch es wesentlich erschwert wird, dem Rohre die richtige Stellung zu geben. Um der letztgenannten Unbequemlichkeit auszuweichen, ist mit dem Newton'schen Fernrohre gewöhnlich ein kleines dioptrisches Fernrohr (ein Sucher) so verbunden, daß die Axen beider Fernröhre parallel gehen.

II. Das Gregory'sche Fernrohr. Dies Spiegelteleskop besteht wie das Newton'sche aus einer Röhre mit einem metallenen Hohlspiegel; statt des kleinen ebenen Spiegels befindet sich in demselben jedoch ein kleiner metallener Hohlspiegel, welcher so in der Axe des Objectivspiegels steht, daß sein Brennpunkt noch ein wenig außerhalb der Brennweite dieses großen Spiegels liegt. Das durch den großen Spiegel erzeugte umgekehrte Bild liegt also innerhalb der Brennweite des kleinen; folglich erzeugt dieser wieder ein abermals umgekehrtes, mithin aufrechtes, und etwas größeres Bild in der Richtung nach den großen Spiegel zu. Bringt man nun in der Mitte des großen Spiegels ein rundes Loch an, etwa von der Größe des kleinen Spiegels; so kann man den kleinen Spiegel in einer solchen Entfernung anbringen, daß das von ihm erzeugte Bild in diese Oeffnung oder besser noch hinter den großen Spiegel fällt. Unterbricht man hinter der Oeffnung die Strahlen durch eine Convexlinse, so erhält man ein kleineres aufrechtes Bild, und dieses betrachtet man dann durch ein convexes Ocular, wie bei dem astronomischen Fernrohre. Vermittelst einer Schraube kann man den kleinen Spiegel dem Ocular mehr oder weniger nähern, um das Instrument verschiedenen Entfernungen und Augen anzupassen. Bei großer Entfernung des Gegenstandes bringt man den Spiegel dem Ocular näher, bei einer geringeren Entfernung aber weiter davon.



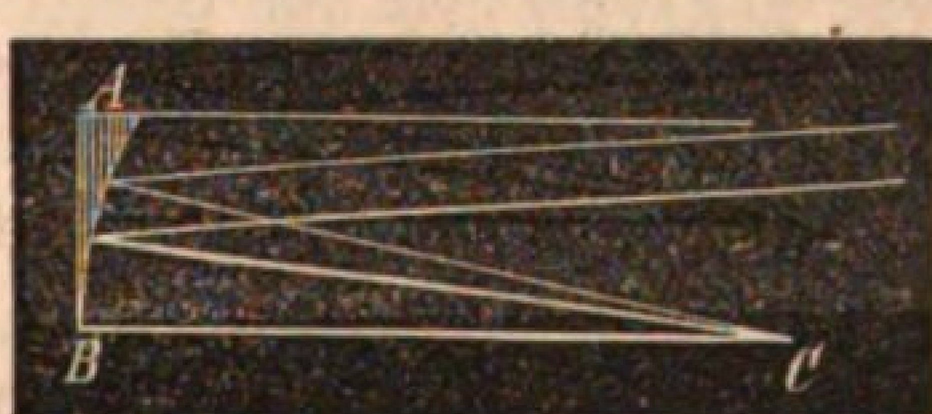
Vor dem Newton'schen Fernrohre hat dieses den Vorzug, daß man in der Richtung des Gegenstandes sieht, und daß es die Bilder in natürlicher Stellung zeigt — es ist dieses Rohr das Erdfernrohr, jenes das astronomische; — allein die Bilder leiden durch die Abweichung wegen der Kugelgestalt beider Spiegel sehr an Deutlichkeit.

In der hier angegebenen Weise construirte 1674 zuerst Hooke ein solches Fernrohr.

III. Das Cassegrain'sche Fernrohr. Dieses von Cassegrain angegebene Teleskop unterscheidet sich von dem Gregory'schen nur durch den kleinen Spiegel, indem dieser nicht concav, sondern convex ist. Cassegrain soll sich hierdurch Gregory's Erfindung haben aneignen wollen *). Der kleine Spiegel ist so gestellt, daß die Strahlen von dem Objectivspiegel auf denselben fallen, ehe sie zu einem Bilde vereinigt werden. Hierdurch entsteht ein umgekehrtes Bild hinter der Durchbohrung des großen Spiegels, welches wie bei dem Gregory'schen Fernrohre durch eine Sammellinse dem großen Spiegel genähert und dann durch ein convexes Ocular betrachtet wird.

Daß bei dem Gregory'schen und bei dem Cassegrain'schen Fernrohre das Rohr leicht auf den zu beobachtenden Gegenstand gerichtet werden kann, ist allerdings ein Vorzug vor dem Newton'schen Fernrohre; doch ist es anderer Seits ein Nachtheil, daß durch die Durchbohrung des großen Spiegels in seiner Mitte gerade die vorzüglichsten Lichtstrahlen unwirksam gemacht werden, wodurch die Bilder an Klarheit verlieren. Indessen, wo es auf ganz besondere Leistungen in Beziehung auf Vergrößerung und Helligkeit ankommt, wird man keins der eben angeführte Instrumente benutzen, sondern sich des folgenden bedienen.

IV. Das Herschel'sche Fernrohr. Dies Fernrohr besteht aus einem großen Hohlspiegel, welcher wie bei den anderen Spiegelteleskopen auf dem Boden eines Rohres angebracht ist, aber nicht so, daß die Axe des Spiegels mit der des Rohres zusammenfällt, sondern gegen diese geneigt ist. Das Rohr hat eine der Brennweite des Spiegels gleich kommende Länge und die Neigung des Spiegels ist der Art, daß das durch denselben erzeugte kleine umgekehrte Bild eines entfernten Gegenstandes sich am unteren Rande des Rohres darstellt. Dies Bild wird unmittelbar durch eine Ocularlinse betrachtet. AB in nebenstehender Figur sei der Spiegel, C das Oculargas. In dieser einfachsten Einrichtung liegt der Uebelstand,



daß durch den Kopf des mit seinem Auge vor C am Rande des Rohres befindlichen Beobachters eine Anzahl Strahlen von dem Spiegel abgehalten wird. Damit dieser Verlust gegen die ganze den Spiegel treffende Lichtmenge möchlichst unbedeutend sei, muß man sich bei diesen Fernröhren sehr großer Hohlspiegel bedienen. Schon vor dem Jahre 1774 hatte W. Herschel ein fünffüßiges Newton'sches Spiegelteleskop angefertigt; überhaupt hat er eigenhändig gegen 200 Metallspiegel von 7 Fuß, 150 von 10 Fuß und 80 von 20 Fuß Brennweite hergestellt. Im Jahre 1780 vollendete er ein Teleskop von 7 Fuß Brennweite und mit diesem entdeckte er am 13. März 1781 den Uranus. Ein Fernrohr von 30 Fuß Länge und einem Spiegel von 36 Zoll Durchmesser anzufertigen, unternahm er in demselben Jahre (1781); aber 1789 vollendete er sein großes, sogenanntes Riesenteleskop, von 40 Fuß Länge, dessen Spiegel 4,125 Fuß im Durchmesser hatte. Das Gewicht des Spiegels betrug über 20 Centner, das ganze Rohr mit Spiegel wog

*) Journ. des Sçavans. 1672.

5100 Pfund. Die stärkste Vergrößerung, welche Herschel anwendete, war 6500 und der Spiegel brachte 36500mal so viel Licht in das Auge, als ohne ihn von demselben Objecte dahin gelangt sein würde.

Daß ein so großes und schweres Fernrohr eine eigene Aufstellung erfordert, versteht sich von selbst. Man bringt es zwischen zwei starke Gerüste, bewirkt die vertikale Stellung durch Taue, die horizontale aber dadurch, daß das Instrument sammt seinen Gerüste mittelst vier Rollen auf der Peripherie einer kreisförmigen, horizontalen Unterlage, ebenfalls durch Taue oder Kurbeln herumgeführt wird; also ähnlich wie bei dem Dache einer holländischen Windmühle. Um und über das Ganze wird ein Thurm mit einem ebenfalls beweglichen Dache erbaut, dessen Oeffnung man auf diejenige Stelle des Himmels bringt, welche man beobachten will.

Geschichtliches in Beziehung auf die Vervollkommnung der Fernröhre.

Da die Vergrößerung um so bedeutender wird, je größer die Brennweite des Objectivglases und je kleiner die des Ocularglases ist, so war nach Erfindung der Fernröhre das Bestreben der Optiker besonders darauf gerichtet, durch Verlängerung der Fernröhre eine sehr starke Vergrößerung zu erreichen. Auzout *) vollendete ein Objectiv, welches bei 300 Fuß Brennweite eine 600malige Vergrößerung ertrug. Eustachius de Divinis in Rom, Campani in Bologna und Huygens verfertigten Gläser von 100 und mehr Fuß Brennweite. Von Huygens Bruder, Constantin sind noch 3 Objective von 123, 170 und 210 Fuß Brennweite im Besitz der Royal Society von London. Von Huygens selbst besitzen wir eine Anleitung zur Verfertigung solcher Gläser **). Wegen dieser bedeutenden Brennweiten kam man auf den Gedanken die Gläser gar nicht in Röhren einzuschließen, und so entstanden namentlich auf Huygens VorschlagFerngläser ohne Röhren oder Luftferngläser (telescope aërien) ***). Das Objectivglas wurde in einem kurzen, mittelst einer Nuß nach allen Richtungen beweglichen, Rohre befestigt, an einer hohen Stange am Giebel eines Hauses oder an einer Art Mastbaum angebracht, unten stand der Beobachter mit dem Ocularglase und mit Hülfe von Schnüren wurde das Objectivglas in die erforderliche Richtung gestellt. Dominicus Cassini ****) machte von diesen Luftgläsern zwischen 1671 und 1684 den nützlichsten Gebrauch bei den Entdeckungen des 8., 5., 4., und 3. Saturnustrabanten. Pound und Bradley bedienten sich zum Theil auch solcher Fernröhre.

Um die Theorie bemühten sich besonders Huygens und Cartesius *****); wegen der Undeutlichkeit der Bilder aber in Folge der Farbenzerstreuung, deren

---

*) Arago in Annuaire pour 1844.

**) Comment. de vitris figurandis in Opp. posth. Lugd. Bat. 1703; auch Hartsöker: Essai de Dioptrique. Paris 1694.

***) Astroscopia compendiaria, tubi optici molimine liberata. Hagae 1684; Priestley: Geschichte der Optik. S. 159. Montucla hist. T. II. p. 309. Vergl. auch: Hevelii mach. coelestis. T. II. Bianchini de Hesperi et Phosphori novis phaenom. Romae 1728. Al. v. Humboldt. Kosmos. Bd. III. S. 77.

****) Delambre, Hist. de l'Astr. moderne. T. II. p. 785.

*****) Dioptrice. Cap. 8. 9.

Beseitigung Newton für unmöglich hielt, kam man von diesen unbeholfenen Instrumenten zurück und wendete sich mehr zu der Verbesserung der Spiegelteleskope, deren Construction Zuchi und Gregory bereits vor Newton angeregt hatten. Im Jahre 1668 entstand Newton's erstes Spiegelteleskop, 1674 stellte Hooke das erste Gregory'sche Fernrohr her. Hadley 1720 verfertigte zuerst Objectivspiegel von namhafter Vollkommenheit, so daß bei einer Vergleichung, welche Pound und Bradley mit einem von diesem angefertigten 5füßigen Spiegelteleskope und dem von Constantin Huygens angefertigten Objectivglase von 123 Fuß Brennweite, dem Spiegelteleskope den Vorzug gaben *). Später, seit 1732, galten die Spiegelteleskope des Optiker Short für die besten, namentlich standen die von ihm angefertigten Gregory'schen Teleskope in gutem Rufe. Maclaurin fand die kleinsten Short'schen Spiegelteleskope besser als die größten anderer Optiker; man konnte z. B. mit einem kleinen Rohre, dessen Spiegel nur 15 Zoll betrug, die Philos. Transactions auf eine Entfernung von 500 Fuß gut lesen, und die fünf äußersten Trabanten des Saturn deutlich sehen **). Molyneux und Bradley im Verein mit Hadley beschäftigten sich besonders mit der Erfindung einer zweckmäßigen Composition der Metallmasse für die Spiegel und mit Vervollkommnung der Politur ***). Alle seine Vorgänger übertraf aber W. Herschel seit 1774. Von Nicht-Engländern sind auf diesem Gebiete nur zu erwähnen Schröter in Lilienthal und Schrader in Kiel, welche im Jahre 1794 ein von ihnen gemeinschaftlich hergestelltes Spiegelteleskop der k. Societät der Wissenschaften zu Göttingen zur Prüfung übersendeten. Schröter sah mit demselben den Stern σ des Orion 12fach. Ein anderes von Schrader angefertigtes Teleskop von 26 Fuß Länge ist von diesem selbst beschrieben worden ****). Im Jahre 1820 suchte der Astronom Airy, in Greenwich, die Spiegelteleskope, welche seit Herschel fast gar nicht zur Anwendung kamen, wieder in Aufnahme zu bringen. Ramage lieferte für die Sternwarte zu Greenwich ein solches, dessen Spiegel 25 engl. Fuß Brennweite und 15 Zoll Oeffnung hatte. Neuerdings haben der Earl of Rosse in Parsonstown unweit Dublin und Hr. Lassall zu Starfield bei Liverpool aus edler Begeisterung für die Sternkunde, mit der aufopferndsten Freigebigkeit und unter eigener unmittelbarer Leitung, zwei ausgezeichnete Spiegelteleskope zu Stande gebracht *****). Das von Lord Rosse hat 5 Par. Fuß 7 Zoll 7 Lin. (6 engl. Fuß) Oeffnung und 46 Fuß 11 Zoll (50 engl. Fuß) Länge und steht im Meridian zwischen zwei Mauern, die von jeder Seite 12 Fuß von dem Tubus entfernt und 45 bis 52 Fuß hoch sind; das von Hrn. Lassell hat nur 2 Fuß Oeffnung und 20 Fuß Brennweite, jedoch sind mit demselben bald nach der Aufstellung die Entdeckung eines Trabanten des Neptun und eines achten Trabanten des Saturn gemacht; auch wurden zwei Uranustrabanten wieder aufgefunden.

---

*) Philos. Trans. N. 376. 378.

**) Vergl. Bernoulli lettr. astronom. Berlin 1771. Lett. 6 und 7 und Lalande's Astron. §. 1931.

***) Smith, Lehrbegriff der Optik. Bd. III. Cap. 2.

****) Beschreibung eines Teleskops. Hamburg 1794.

*****) Abstr. of the Astr. Soc. 1849. Vol. IX. No. 5. Vergl. auch John Herschel, Outl. of Astr. §. 870. v. Humboldt, Kosmus. Bd. III. S. 81. Allgem. Wiener polytechnisches Journ. 1843. Nr. 151.

Eine genauere Vorstellung von den bei Spiegelteleskopen gebräuchlichen Verhältnissen wird folgende Zusammenstellung geben.

Newton'sche Spiegelteleskope, wie sie von Hawksbee ausgeführt worden sind.

Brennweite des großen Spiegels	Oeffnung des großen Spiegels	Brennweite des Oculars	Vergrößerung
1 engl. Fuß	2,2 Zoll	0,13 Zoll	93
2 = =	3,8 =	0,15 =	158
3 = =	5,1 =	0,17 =	214
4 = =	6,4 =	0,18 =	260
6 = =	8,6 =	0,20 =	360
12 = =	14,5 =	0,24 =	600
24 = =	24,4 =	0,28 =	1020

Gregory'sche Spiegelteleskope, wie sie von Short ausgeführt worden sind.

Brennweite des großen Spiegels	Oeffnung des großen Spiegels	Vergrößerung	Preis
1 engl. Fuß	3 Zoll	35 bis 100mal	14 Guineen
2 = =	4,5 =	90 = 300 =	35 =
3 = =	6,3 =	100 = 400 =	75 =
4 = =	7,6 =	120 = 500 =	100 =
7 = =	12,2 =	200 = 800 =	300 =
12 = =	18 =	300 = 1200 =	800 =

Das Newton'sche Spiegelteleskop fand besonders deshalb einem so allgemeinen Beifall, weil es die Gegenstände ohne alle farbigen Säume zeigte; außerdem verträgt ein kleines Spiegelteleskop eine Vergrößerung, welche man nur mit einem bei weitem größeren gewöhnlichen dioptrischen Fernrohre erzielen kann, z. B. mit einem Spiegel von 2 Fuß Brennweite ermöglicht man schon eine mehr als 100fache Vergrößerung, wozu bei einem dioptrischen Fernrohre ein Objectiv von 25 Fuß Brennweite erforderlich sein würde. Diese Vortheile waren zu bedeutend, als daß man nicht auf die Vervollkommnung der Spiegelteleskope allen Fleiß hätte verwenden sollen. Die bequemere Handhabung der dioptrischen Fernröhre war freilich ein Vorzug, auch verlangten die Spiegelteleskope an sich große Sorgfalt in der Behandlung, da die feinpolirten Spiegel, namentlich beim Gebrauche zur Nachtzeit, durch den Einfluß der Luft leicht oxydiren und matt, ja selbst ganz unbrauchbar werden, wie dies mit Herschel's Riesenteleskope der Fall war, welches durch eine einzige feuchte Nacht seine hohe Politur verlor, so daß es wenige Jahre nach seiner Aufstellung unbrauchbar wurde. Aber waren die Vorzüge diesen Nachtheilen gegenüber nicht überwiegend, da man die dioptrischen Fernröhre farbenfrei zu machen keine Hoffnung hatte? So lange dies nicht möglich war, mußte man auch darauf verzichten mit kürzeren Fernröhren Bedeutendes zu leisten. Zu

dieser, wie sich später ergab, irrigen Ansicht hatte Newton verleitet, und was dieser für unmöglich hielt, konnte nicht leicht ein Anderer möglich machen wollen. Wie es dennoch später gelang, die farbigen Säume zu beseitigen und der ganze Gang, welcher zu diesem erfreulichen Resultate führte, dies ist enthalten in dem Artikel: Linsenglas, auf welchen wir deshalb hier ausdrücklich verweisen.

Im Jahre 1758 vollendete Dollond sein erstes achromatisches (farbloses) Fernrohr und von da an kamen nun wieder die dioptrischen Fernröhre namentlich zu astronomischen Beobachtungen in Aufnahme und zu Ehren. Es ist dieses Jahr 1758 ein Epoche machendes in der Geschichte der Fernröhre.

Dollond's achromatisches Objectiv besteht aus einer convexen Linse von Kronglas und einer concaven von Flintglas, die mit einander verbunden sind, so daß sie scheinbar ein Glas ausmachen. Es werden hierdurch zwar nicht sämmtliche Farben beseitigt, aber der übrig bleibende Rest (ein sogenanntes secundäres Farbenbild oder Spectrum) ist sehr gering. Man bemerkt z. B. diesen Rest von Farben bei der Betrachtung des Mondes durch ein achromatisches Fernrohr daran, daß der Mond einen schwach purpurnen Rand hat, wenn das Ocular ein wenig zu sehr, einen schwach gelbgrünen Rand, wenn das Ocular nicht völlig weit genug herausgezogen ist. Euler, welcher eigentlich die Erfindung des Achromatismus veranlaßt hatte *), brachte, nachdem Dollond sein Fernrohr hergestellt hatte, die Theorie der Abweichung wegen der Farbenzerstreuung, und die der Abweichung wegen der Kugelgestalt auf allgemeine und doch einfache Formeln, so daß man jetzt beide Arten der Abweichung für jede beliebige Stellung von Gläsern leicht berechnen kann. Er zeigte ferner, daß dreifache Objectivgläser, zusammengesetzt aus zwei convexen Linsen von Kronglas und einer dazwischen gestellten concaven von Flintglas, bedeutende Vorzüge vor Dollond's doppelten haben würden; er zeigte endlich, wie man die Oculargläser zu solchen Objectiven auf das Vortheilhafteste anzuordnen habe. Klügel **) bearbeitete Euler's Theorie gedrängter, aber faßlicher und lichtvoller, beschäftigte sich auch besonders damit beide Abweichungen, die wegen der Kugelgestalt und die wegen der Farbenzerstreuung (vergl. Art. Abweichung Bd. I. S. 99 und 100), möglichst zu heben ***).

Die Vorzüge der achromatischen Fernröhre sind ungemein wichtig:

1) Das Bild eines achromatischen Objectivs von nur einigen Fußen Brennweite verträgt eine stärkere Vergrößerung, als das eines einfachen von 20, 30 und mehr Fuß Brennweite. Es leistet also ein solches Fernrohr das, was wir als einen Vorzug der Spiegelteleskope kennen gelernt haben, außerdem ist das achromatische Rohr aber viel bequemer zu handhaben, als das Spiegelteleskop.

---

*) Histoire de l'Acad. de Berlin 1747. 1754. Dioptrica, auctore Eulero. Petropoli 1769—1771. Tom. III. 4.

**) Analytische Dioptrik. Leipzig 1778, vergl. auch: Priestley, Geschichte der Optik, übers. von Klügel. Leipzig 1776.

***) Gilb. Ann. Bd. XXXIV. S. 265; vergl. überdies Bohnenberger, Gauß und Fraunhofer in: Astron. Zeitschrift von v. Lindenau und v. Bohnenberger. Bd. I. S. 335.; Bd. IV. S. 345; Gilb. Ann. Bd. LIX. S. 188 und Frauenhofer über Brechung und Farbenzerstreuung verschiedener Gasarten in den Schriften der Münchner Gesellschaft.

2) Die Apertur kann bedeutend sein, so daß die Helligkeit beinahe der natürlichen gleich kommt.

3) Nach Euler's Anweisung kann man selbst die durch die nicht achromatischen Oculare wieder erzeugten Abweichungen durch genaue Bestimmung der Brennweiten und Krümmungshalbmesser so vermindern, daß die Bilder an Schärfe und Deutlichkeit keinen merklichen Verlust erleiden.

4) Das Gesichtsfeld kann durch gehörige Anordnung der Oculare viel größer werden, als bei den nicht achromatischen Fernröhren.

Im Vergleich zu den Spiegelteleskopen scheinen die achromatischen Fernröhre nur dann im Nachtheile zu stehen, wenn es sich um die stärksten erreichbaren Vergrößerungen handelt, worin auch der Grund liegt, daß man in neuester Zeit wieder die Anfertigung großer Spiegelteleskope unternommen hat.

Ein Hauptübelstand, durch welchen die Anfertigung großer achromatischer Fernröhre erschwert wurde, bestand in der Schwierigkeit, größere, vollkommen homogene, blasen- und wellenfreie Scheiben von Flintglas zu erhalten. Den Objectiven konnte man daher nur einen kleinen Durchmesser geben. Ein Schweizer Guinand, besonders aber Fraunhofer in München lieferten die schönsten Flintgläser, und daher sind auch die vorzüglichsten achromatischen Fernröhre der größten Sternwarten aller Länder in München angefertigt worden. Ein Verzeichniß der Instrumente des optischen Instituts von Merz, Utzschneider und Fraunhofer in München ist Bd. I. S. 254 — 258 in dem Artikel Apparat gegeben, wo sich auch die historischen Notizen finden über die Orte, nach welchen die bedeutendsten Instrumente gekommen sind. Auch sei hier auf das Preisverzeichniß der achromatischen Objective aufmerksam gemacht, welches a. a. O. S. 258 aufgenommen ist.

Wie weit man es übrigens in der Anfertigung achromatischer Fernröhre gebracht hat, dafür giebt das neue Riesen-Fernrohr, das sogenannte Craig-Teleskop, einen schlagenden Beweis *). Die von dem Geräusche der Welt zurückgezogene Muse eines Landpfarrers Craig, Vicar von Leamington, brachte denselben auf den Gedanken ein ungeheures achromatisches Fernrohr herstellen zu lassen und mit Hülfe von W. Gravatt, Esq., ist das Werk zu Stande gekommen und auf einem von dem Grafen Spencer abgetretenen zwei Morgen großen Platze zu Wandsworth aufgestellt. Die Länge des Instruments beträgt 85 Fuß, die Länge der Hauptröhre, die wie eine Cigarre geformt ist und an dem engeren Ende das Augenrohr hat, 76 Fuß. Die Brennweite variirt zwischen 74 und 85 Fuß. Die Röhre mißt in ihrem größten Umfange 13 Fuß, und dieser Theil ist ungefähr 24 Fuß vom Objectivglase entfernt. Die Außenwände des Instrumentes sind von glänzendem Metalle, während die innere Wand schwarz angestrichen ist. Die optischen Theile sind von Hrn. Slatter ausgeführt. Die zwei Linsen, welche mit einander das Objectiv bilden, sind auf folgende Weise construirt: die Concavglaslinse hat eine positive Brennweite von 30 Fuß $1\frac{1}{2}$ Zoll und ihr Brechungsindex ist 1,5103. Die Flintglaslinse hat eine negative Brennweite von 49 Fuß $10\frac{1}{2}$ Zoll und der Brechungsindex ist 1,6308. Die Brennweite des aus diesen beiden Linsen bestehenden 2 Fuß Oeffnung haltenden Objectivglases beträgt für

*) Illustrated London News 28. Aug. 1852.

parallele Strahlen, wie sie von allen Gegenständen angenommen werden müssen, die sich im Weltenraume befinden, 72 Fuß. Zur Aufstellung wurde ein besonderer Bau ausgeführt von Hrn. Gravatt. Der Centralthurm besteht aus Backsteinen, ist 64 Fuß hoch, 15 Fuß weit und wiegt 220 Tonnen. Jede Vorsichtsmaßregel wurde bei seinem Baue angewendet. Neben diesem Thurme hängt das Teleskop. Die Röhre befindet sich auf einem leichten Rahmenwerke aus Holz, an welchem eiserne Stäbe angebracht sind, die auf einer um den Thurm in einer Entfernung von 52 Fuß laufenden kreisrunden Eisenbahn hingleiten können. Die Kette, an welcher das Instrument herabgelassen wird, kann ein Gewicht von 15 Tonnen tragen, obwohl die Röhre nur 3 Tonnen wiegt. Trotz der ungeheuren Größe des Instruments kann es sowohl im Azimuth als im Meridiane mit derselben Leichtigkeit und Raschheit in Bewegung gesetzt werden, wie ein gewöhnliches Fernrohr, und in Folge der mechanischen Einrichtung mit einer weit größeren Sicherheit, als dies gewöhnlich der Fall ist. Der geringste Stoß an den auf der Schiene gleitenden Stabe verleiht dem Instrumente eine Bewegung um den Thurm herum. — Das Teleskop soll vollkommen achromatisch sein. Der Saturn erscheint darin in milchweißem Lichte; der Mond ist ein prächtiges und vollkommen farbloses Object. Die Kraft des Instruments ist so groß, daß sie nicht wohl mit jener der anderen verglichen werden kann. Es trennt die geringsten Lichtpunkte so rein, daß es, so weit es der durchdringbare Raum zuläßt, als ein Entdeckungsinstrument von der höchsten Vollendung angesehen werden muß. So löst es die Milchstraße nicht blos in schöne und glänzende „Nebelsterne“ auf, sondern es theilt sie in regelmäßige Sternbilder ab; und was bisher nur glänzende Lichtpunkte waren, das sind jetzt Duplikate unseres Orion, der Cassiopeja, des großen und kleinen Bären, welche ebenfalls in den glänzendsten Farben strahlen.

Wegen der Schwierigkeit große fehlerfreie Flintglaslinsen anzufertigen kam man auf den Gedanken, Achromatismus durch getrennte Gläser hervorzubringen, weil man dann durch eine kleinere Flintglaslinse eine größere Kronglaslinse corrigiren und achromatisiren kann. Littrow in Wien machte besonders auf die Möglichkeit einer solchen Einrichtung und auf die daraus erwachsenden Vortheile: Verminderung des Durchmessers der Correctionslinse und bedeutende Verkürzung des ganzen Instrummentes aufmerksam, und nannte ein achromatisches Fernrohr mit einem einfachen Objective von Kronglas und einer davon getrennten Correctionslinse ein dialytisches Fernrohr (v. d. griech. διαλύω). Ein solches wurde zuerst von Plössl, mit getrenntem dreifachen Objective im Jahre 1832 hergestellt, und derselbe hat seitdem eine große Anzahl größerer und kleinerer dialytischer Instrumente (auch Theaterperspective) gefertigt, welche, als alle Erwartungen übertreffend, den ungetheilten Beifall aller Physiker erhalten haben. Die Vortheile bestehen, um dies noch näher anzugeben, darin, daß ein nur halb so großes Flintglas als bei der Dollond'schen Einrichtung nöthig ist, indem wegen der Entfernung der Flintglaslinse von dem Kronglase jene nur die Hälfte der Objectivöffnung des Fernrohrs zum Durchmesser zu haben braucht (ein Vortheil, welcher bei der Kostbarkeit des Flintglases bedeutend ist); ferner, daß die Fernröhre bedeutend verkürzt werden, indem z. B. ein Tubus von 10 Zoll Oeffnung nach alter Art $15^1/_2$ Fuß, dialytisch nur 10 F. hat; endlich daß die dialytischen Fernröhre durch Schärfe und Lichtstärke sich auszeichnen, weil (nach Littrow) die Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch die Correctionslinse sich mit viel

größeren Winkeln als bisher zu dem Bilde vereinigen, und dadurch dem Bilde selbst mehr Präcision und eine schärfere Begrenzung geben *).

---

*) Dieser letztere Vorzug hat wohl darin seinen Grund, daß man den Durchschnittspunkt zweier auf Papier verzeichneten feinen Linien mit desto mehr Sicherheit mit einer Nadelspitze bezeichnen kann, einen je größeren Winkel jene Linien mit einander machen. Sind die Linien nur wenig gegen einander geneigt, so fällt ihr wahrer Durchschnittspunkt zweideutig aus, ja es können gleichsam mehrere Punkte hinter einander als Durchschnittspunkte angesehen werden, aber keiner hat den reinen Charakter des wahren Durchschnittspunktes dieser Linien. — Ein sehr feiner Lichtbüschel wirkt auf unser Auge wie ein einzelner Strahl, und der Durchschnittspunkt mehrerer solcher Büschel ist der Ort des Bildes. Dieser Punkt wird demnach auch desto präciser, unzweideutiger, mithin deutlicher erscheinen, unter je größeren Winkeln sich die Büschel schneiden.

Um von der Beschaffenheit und dem Preise der jetzt allgemein beliebten dialytischen Fernröhre einen Begriff zu geben, fügen wir hier nach Plössl's eigener Angabe das Verzeichniß der von ihm angefertigten dialytischen Stand-Fernröhre bei, und thun dies um so mehr, da im Art. Apparat ein solches Verzeichniß nicht aufgenommen ist.

1. Fernrohr von Messing, auf Stative aus messingener Säule mit Dreifuß zum Zusammenlegen, mit horizontaler und verticaler Bewegung. Tubus von 28'' Länge, Objectiv von 26''' Oeffnung und 22'' Brennweite; zwei irdische Oculare von 40- und 60maliger Vergrößerung, zwei astronomische Oculare von 45—70maliger Vergrößerung, nebst Sonnenglas, in polirtem Kasten von Nußbaumholz mit Schloß . . . . 140 fl.
2. Derlei mit Tubus von 35'' Länge, von 33''' Objectivöffnung und 29'' Brennweite; zwei irdischen Ocularen von 53- und 70maliger, und drei astronomischen von 45-, 72- und 105maliger Vergrößerung, nebst Sonnenglas, in polirtem Kasten von Nußbaumholz mit Schloß . . . . 230 fl.
3. Derlei mit Tubus von 40'' Länge, mit horizontaler und verticaler sanfter Bewegung durch Triebwerk; Objectivöffnung von 37'''; Brennweite von 34''; zwei irdischen Ocularen von 56- und 80maliger, und vier astronomischen von 50-, 80-, 111- und 135maliger Vergrößerung, nebst zwei Sonnengläsern, in polirtem Kasten von Nußbaumholz mit Schloß . . . . 310 fl.
4. Derlei auf Pyramidelstative, unmittelbar auf dem Boden stehend, mit Tubus und Fuß von Mahagoniholz . . . . 310 fl.
5. Fernrohr auf Pyramidalstativ von Mahagoniholz, unmittelbar auf dem Boden stehend, mit horizontaler und verticaler sanfter Bewegung durch Triebwerk. Tubus von Mahagoniholz von 44'' Länge; Objectivöffnung von 41''' und Brennweite 38''; zwei irdischen Ocularen von 60- und 90maliger, vier astronomischen von 55-, 80-, 120- u. 160maliger Vergrößerung, nebst zwei Sonnengläsern und achromatischem Sucher. Die Oculare in polirtem Kästchen von Nußbaumholz mit Schloß . . . . 430 fl.
6. Derlei mit Tubus von 48'' Länge; Objectivöffnung von 45''', und 42'' Brennweite; zwei irdischen Ocularen von 65- und 100maliger, fünf astronomischen von 55-, 80-, 120-, 160- und 230maliger Vergrößerung. Nebst zwei Sonnengläsern, Ringmikrometer und achromatischem Sucher. Die Oculare, Sonnengläser und das Ringmikrometer in polirtem Kästchen von Mahagoniholz mit Schloß . . . . 570 fl.
7. Derlei mit Tubus von 51'' Länge, Objectivöffnung von 48''', Brennweite 45''; zwei irdischen Ocularen von 65- und 110maliger, fünf astronomischen von 60-, 90-, 130-, 180- und 270maliger Vergrößerung, nebst zwei Sonnengläsern, Ringmikrometer und achromatischem Sucher. Die Oculare, Sonnengläser und das Ringmikrometer in polirtem Kästchen von Mahagoniholz . . . . 760 fl.
8. Die Fernröhre Nr. 3 oder 4 parallactisch aufgestellt; mit einem Stunden- und Declinations-Aufsuchungskreise von $5^1/_2$ Zoll im Durchmesser, von Minute zu Minute auf Silber getheilt, mit allen nöthigen Correctionen versehen . . . 550 fl.
9. Das Fernrohr Nr. 5 parallactisch aufgestellt, mit einem Stundenkreise von $5^1/_2$''

Schon vor der Construction der dialytischen Fernröhre hatte man einen anderen Weg versucht, die Achromatisirung durch Flintglaslinsen zu umgehen. Robert Blair*) verfertigte im J. 1789 ein Fernrohr, bei welchem der Achromatismus bewirkt war durch ein mit Flüssigkeit gefülltes Objectiv, wozu Euler — durch das Auge darauf geführt — die erste Idee angegeben hatte. Blair nahm als Füllung Auflösungen von Salzen, oder Steinöl, oder das aus Steinkohlen und Bernstein gewonnene Oel und, weil nach seiner Behauptung alle Farben aufgehoben werden sollen, nannte ein solches Objectiv aplanatisch (v. d. griech. πλανάω, täuschen, also nicht täuschend). Nach Robinson soll ein solches Fernrohr von 12 Zoll Brennweite und 2 Zoll Oeffnung, welches 140mal vergrößerte, ein Dollond'sches Rohr von 42 Zoll Brennweite übertroffen haben. Blair hatte beide Linsen, wie bei den gewöhnlichen achromatischen Fernröhren, in unmittelbare Berührung gebracht; Barlow stellte die zweite Linse in eine beträchtliche Entfernung von der ersten und füllte dieselbe mit Schwefelalkohol. Diese verbesserten Instrumente sollen sich durch eine sehr kurze Brennweite und

und einem Declinationskreise von 6½'' Durchmesser, ersterer von 4 zu 4 Secunden, letzterer in Minuten auf Silber getheilt, mit allen nöthigen Correctionen versehen . . . . 750 fl.

10. Das Fernrohr Nr. 6, wie vorher erwähnt parallactisch aufgestellt, mit einem Stundenkreise von 6'' und einem Declinationskreise von 8'' Durchmesser, ersterer von 4 zu 4 Secunden, letzterer von 30 zu 30 Secunden auf Silber getheilt mit mit allen nöthigen Correctionen versehen . . . . 960 fl.

11. Das Fernrohr Nr. 7 parallactisch aufgestellt mit einem Stundenkreise von 6½'' von 4 zu 4 Secunden und einem Declinationskreise von 8½'' von 30 zu 30 Secunden auf Silber getheilt mit allen nöthigen Correctionen versehen . . . . 1150 fl.

12. Tubus von 5'' Objectiv-Oeffnung und 5' Brennweite auf Pyramidal-Stativ von Mahagoniholz parallactisch aufgestellt mit einem Stundenkreise von 7'' von 4 zu 4 Secunden und einem Declinationskreise von 9½'' Durchmesser von 30 zu 30 Secunden auf Silber getheilt; zwei irdische Oculare von 70- und 120maliger, fünf astronomische von 65-, 100-, 140-, 200- und 330maliger Vergrößerung, nebst einem Ringmikrometer, 2 Sonnengläsern und achromatischem Sucher . . . . 1500 fl.

13. Refractor von 6'' Objectiv-Oeffnung, 6' Brennweite parallactisch aufgestellt auf Mahagoniholz-Stativ mit einem Stundenkreise von 9'' von 2 zu 2 Secunden und einem Declinationskreise von 12'' Durchmesser, von 15 zu 15 Secunden auf Silber getheilt; das Fernrohr gehörig balancirt folgt durch eine Uhr der täglichen Bewegung der Erde, hat zwei irdische Oculare von 90- und 130maliger und 6 astronomische von 60-, 80-, 120-, 160-, 280- u. 390maliger Vergrößerung, nebst einem Ringmikrometer, 4 Sonnengläsern und achromatischem Sucher . . . . 3400 fl.

14. Refractor von 7'' Objectiv-Oeffnung, 7' Brennweite auf Pyramidal-Stativ von Mahagoniholz parallactisch montirt mit einem Stundenkreise von 9½'' von 2 zu 2 Secunden und einem Declinationskreise von 14'' Durchmesser, von 15 zu 15 Secunden auf Silber getheilt; das Fernrohr gehörig balancirt folgt durch eine Uhr der täglichen Bewegung der Erde, hat zwei irdische Oculare von 100- und 140maliger und 6 astronomische von 70-, 90-, 130-, 180-, 300- und 450maliger Vergrößerung, einen achromatischen Sucher, nebst einem Ringmikrometer und 4 Sonnengläsern . . . . 4600 fl.

Vergl. außerdem über dialytische Fernröhre: Wiener Zeitschr. für Kunst, Literatur ꝛc. 1832. Nr. 108 und 109. Baumgartner's Zeitschrift. Bd. III. Heft 1.

*) Transact. of the Roy. Soc. of Edinburgh. T. II. Gilb. Ann. Bd. VI. S. 129. und Edinburgh Journ. of Science. No. VIII.

durch ihre große Oeffnung auszeichnen, und sind eigentlich aplanatisch-dialytisch zu nennen. Auf die große Farbenzerstreuungskraft des Schwefelalkohols hatte zuerst Brewster im J. 1813 aufmerksam gemacht. Der einzige Nachtheil, welchen man bei diesen Instrumenten zu befürchten haben möchte, besteht nach Frauenhofer in einer Aenderung der Flüssigkeit durch die Wärme z. B. bei Sonnenbeobachtungen.

Die dialytischen Fernröhre veranlassen die Idee, ein achromatisches Fernrohr zu construiren blos durch ein einfaches Objectiv und durch ein achromatisirendes Ocular. Schon d'Alembert kam auf diesen Gedanken, doch ist derselbe bis jetzt nur an Theaterperspectiven zur Ausführung gekommen. Da um so weniger Licht absorbirt wird, je weniger Linsen das Fernrohr enthält, so steht zu erwarten, daß diese Construction noch zu größerer Anwendung kommen wird.

Zu erwähnen ist noch Brewster's Teinoskop (von dem griech. τείνω, ich dehne aus). Brewster*) ging von folgender Beobachtung aus: Hält man ein dreiseitiges Prisma mit der brechenden Kante horizontal und sieht z. B. nach dem Fenster eines gegenüberstehenden Hauses, so wird man dies vertical verlängert oder verkürzt oder in natürlicher Länge erblicken, je nachdem man das Prisma um die horizontal liegenbleibende Kante dreht; dasselbe findet statt in Beziehung auf die horizontale Dimension, wenn man die brechende Kante vertical hält. Verbindet man nun zwei Prismen in der Stellung, bei welcher die Fensterscheibe in verticaler und horizontaler Dimension ausgedehnt erscheint, so erblickt man dieselbe und ebenso jeden anderen Gegenstand vergrößert nach allen Richtungen hin, so daß man gleichsam ein aus zwei Prismen gebildetes Fernrohr hat. Die Bilder erscheinen aber in Regenbogenfarben. Um diese zu entfernen kann man achromatische Prismen nehmen, oder man stellt vor die Prismen eine Glasscheibe, welche alle gefärbten Strahlen bis auf einen einzigen absorbirt, wodurch man homogenes (einfarbiges) Licht erhält, oder man macht die Prismen selbst aus einer solchen Glassorte, wie diese Scheibe ist, oder — und dies scheint für die Ausführung am zweckmäßigsten zu sein — man stellt noch zwei andere, den beiden ersten ganz gleiche Prismen, aber in umgekehrter Lage neben das erste Paar. Von diesen Instrumenten hat Brewster mehrere ausführen lassen, auch Blair verfertigtete mehrere und Amici in Modena soll sie in großer Vollkommenheit hergestellt haben.

An diese die Fernröhre im Allgemeinen betreffenden Mittheilungen reihen wir noch einige specielle Bemerkungen.

Das astronomische Fernrohr läßt sich verkürzen, wenn man das durch das Objectivglas erzeugte Bild nicht zur Wirklichkeit kommen läßt, sondern durch ein eingeschaltetes etwas breites Converglas unterbricht. Man erhält hierdurch zwar ein kleineres Bild, als sonst entstanden sein würde, aber die Vergrößerung des Rohrs leidet darunter nicht, weil das Bild in dem Verhältnisse, in welchem es kleiner geworden ist, eine stärkere Vergrößerung verträgt (vergl. das bei den dialytischen Fernröhren Gesagte). Ein Hauptvortheil, welcher durch diese Einrichtung erreicht wird, besteht in dem vergrößerten Gesichtsfelde, weshalb sie besonders da angewendet werden, wo es darauf ankommt, einen großen Raum

*) Treatise on new philosophical Instruments. London 1813.

auf einmal übersehen zu können. Die Kometensucher oder Sucher sind dergleichen Fernröhre.

Bei dem holländischen Fernrohre kann man das Gesichtsfeld in gleicher Weise vergrößern; dasselbe gilt auch von dem Erdfernrohre, so daß dieses alsdann vier Oculare enthält. Wollte man bei dem Erdfernrohre nur zwei Oculare anwenden, so würde man zwar auch eine Umkehrung des umgekehrten Bildes zu Stande bringen, wenn man das vom Auge an gerechnete zweite Ocular so stellte, daß das durch das Objectivglas erzeugte Bild außerhalb der Brennweite desselben stände; aber das Gesichtsfeld würde sehr beschränkt sein. Bei ungleicher Brennweite der Oculare haben Euler und Klügel (a. a. O.) die günstigsten Verhältnisse in ihrer Anordnung angegeben.

Einen neuen Vorschlag das Bild eines astronomischen Fernrohres umzukehren und dasselbe dadurch in ein Erdfernrohr umzuwandeln, hat Dove*) gemacht. Er schlägt zwei gleichschenkelige rechtwinkelige Prismen vor, die eine solche Stellung haben müssen, daß in ihnen an den Kathetenflächen das Licht zweimal gebrochen und einmal an der Hypotenusenfläche total reflectirt wird. Stehen beide Prismen mit ihren Brechungsebenen senkrecht auf einander, so kehrt das eine das Bild in der Richtung von oben nach unten, das andere in der Richtung von rechts nach links um. Dove nennt ein solches Prismensystem ein Reversionsprisma und als Ansatz zu einem astronomischen Fernrohr ein terrestrisches Prismenocular.

Zur Abhaltung des Seitenlichtes wird das Objectiv mit dem Oculare durch Röhren verbunden. Diese Röhren werden inwendig geschwärzt, damit sie das auf sie seitlich fallende Licht nicht zurückwerfen, und sind so durch Ineinanderstecken eingerichtet, daß das Ocular dem Objectiv in gewissen Grenzen mehr oder weniger genähert werden kann. Es macht nämlich einen Unterschied, ob der Beobachter weit- oder kurzsichtig ist, und ob der Gegenstand in größerer oder geringerer Entfernung sich befindet. Bei größeren Fernröhren, wo das Objectiv eine Oeffnung von mehr als 24 Linien hat, hat man gewöhnlich nur zwei solche Röhren, von denen die kleinere den Oculareinsatz enthält und entweder mittelst einer besonderen Schraubenvorrichtung oder auch unmittelbar mit der Hand dem Objective genähert werden kann. Bei den Erdfernröhren werden in gewissen Fällen an den Oculareinsätzen die beiden äußersten Oculargläser in einer eigenen Röhre befestigt, um sie gegen das Objectiv bewegen, und dadurch die Vergrößerung ändern zu können. Derartige Oculare heißen pankratische (von dem griech. πᾶς, jeder; im Plur. alle und κρατέω, ich habe in meiner Gewalt, beherrsche). Kleinere Fernröhre haben, um sie bequemer in der Tasche transportiren zu können, mehrere zum Ineinanderschieben eingerichtete Röhrenstücke. Mit Silber oder Gold plattirte Röhren dieser Art schieben sich in einer mit Tuch gefütterten Büchse, messingene in federnden Hülsen. Letztere können deshalb mehr zusammengeschoben werden, ohne daß man zu befürchten braucht, daß dadurch die Axen der einzelnen Linsen aus der geraden Linie gebracht werden. Längere Röhren sind selten vollkommen gerade und daher haben bei einem auseinander gezogenen Fernrohre die einzelnen Röhrenstücken nur bei einer gewissen Stellung die zur

*) Poggend. Ann. Bd. LXXXIII. S. 189.

richtigen Centrirung erforderliche Lage gegen einander. Um diese Lage leicht finden zu können, sind bei den sorgfältig gearbeiteten Instrumenten an den Federn der Röhren Sternchen angebracht, und man muß nun die Röhren so stellen, daß jene Sternchen in eine gerade Linie zu liegen kommen.

In den Röhren werden um diejenigen Punkte, in welchen Bilder von den Gläsern erzeugt werden, Diaphragmen oder Blendungen (s. d. Art.) angebracht, deren Oeffnungen der Größe der Bilder entsprechen müssen. Dieselben dienen dazu, alles an der Grenze des Bildes befindliche, unordentlich zerstreute Licht abzuhalten und vermehren daher die Deutlichkeit.

Fadenkreuze werden in den Fernröhren in dem Brennpunkte des dem Auge nächsten Oculars angebracht, um den Mittelpunkt und die Lage zweier auf einander senkrecht stehender Durchmesser des Gesichtsfeldes anzugeben. Zwei oder nach Bedürfniß auch mehrere (Fadennetz) Fäden von Spinnweben oder sehr dünne Metalldrähte werden über einen Ring, welcher nachher an der angegebenen Stelle in die Röhre gebracht wird, gespannt, so daß sich bei zwei Fäden diese in der Mitte des Ringes kreuzen. Nach Einsetzung des Ringes muß der Kreuzungspunkt in der Axe des Fernrohres liegen.

Zur Aufstellung der Fernröhre bedient man sich im Allgemeinen dreibeiniger Gestelle, um jedes Wackeln des Gestelles zu vermeiden. Kleine Fernröhre werden bekanntlich in der Hand gehalten, bei größeren ist dies natürlich nicht möglich. Um das Fernrohr bequem nach jeder Richtung bewegen zu können, kann es mit einer Nuß in eine Hülse gebracht werden, und eine Schraube kann dazu dienen, eine einmal gewählte Stellung zu befestigen. Noch sicherer ist es, wenn man das Fernrohr um eine verticale und eine horizontale Axe drehbar einrichtet, und um diese Bewegungen regelmäßig und sicher zu machen, können sie durch Eingreifen von Schrauben ohne Ende in mit dem Fernrohre festverbundene gezahnte Scheiben bewerkstelligt werden. Bei Instrumenten, die an einem bestimmten Orte stehen bleiben, giebt man der einen Axe, um welche das Fernrohr bewegt werden kann, statt der verticalen die Richtung der Weltaxe, eine um diese Axe gehende Drehung ist dann mit der täglichen Bewegung der Gestirne übereinstimmend. Die Bewegung eines Fernrohres in Verfolgung eines Sternes geschieht noch gleichmäßiger, so daß der Stern stets auf derselben Stelle des Gesichtsfeldes erscheint, mittelst eines Uhrwerks, wie es bei den Frauenhofer'schen und Plößl'schen Refractoren zu sein pflegt.

Eine Hauptsache bei einem Fernrohre ist, daß es richtig centrirt sei. Um sich hiervon zu überzeugen, und wenn es nicht der Fall ist, es zu bewirken, kann man sich folgender Methode nach Frauenhofer bedienen. Wenn eine Linse nicht richtig centrirt ist, so fällt ihr Brennpunkt nicht in die Axe des Fernrohres, sondern auf einen außerhalb derselben liegenden Punkt. Man bringt nun das Fernrohr so auf die Drehbank, daß die Axe desselben mit der Drehungsaxe genau zusammenfällt, und sieht nun durch die Gläser auf einen entfernten Gegenstand; liegt der Brennpunkt eines Glases nicht in der Axe, so wird bei der Drehung derselbe seine Lage ändern und der Gegenstand scheint sich zu bewegen. So lange dies der Fall ist, muß die Lage des Glases, dessen Stellung Schuld daran ist, berichtigt und dasselbe erst dann fest gestellt werden, wenn das Tanzen des Gegenstandes völlig aufhört.

Der Grad der Vollkommenheit eines Fernrohres hängt ab von dem Grade der Vergrößerung, der Deutlichkeit und der Helligkeit des Bildes und von der Größe des Gesichtsfeldes. Diese Eigenschaften sind aber von der Art, daß man, um eine derselben zu erhöhen, andere nothwendig herabsetzen muß. Um z. B. die Vergrößerung zu steigern, muß man für dasselbe Objectiv ein Ocular mit kleiner Brennweite anwenden; soll dann aber das Bild deutlich bleiben, so muß das Ocular eine kleinere Oeffnung erhalten, und dadurch wird dann das Gesichtsfeld beschränkt. Auch an Helligkeit muß das Bild verlieren und überhaupt nimmt die Helligkeit bei derselben Vergrößerung mit der Oeffnung des Objectivs zu. Jedes Fernrohr verträgt daher mit einem bestimmten Objective nur eine gewisse Vergrößerung. In Beziehung auf die theoretischen Bestimmungen verweisen wir hier nochmals auf Euler und Klügel, außerdem aber auch noch auf Grunert*), in Beziehung auf den praktischen Theil auf Prechtl**).

Zu der Prüfung des Fernrohres giebt Baumgartner***) folgende Anweisung. Die Güte eines Fernrohres lernt man am besten beim Gebrauche desselben kennen. Richtet man es auf einen wohlbeleuchteten Gegenstand, der auf dunklem Grunde erscheint, so muß er scharf begrenzt und mit farblosen Rändern erscheinen. Instrumente mit starker Vergrößerung richtet man auf einen am dunklen Himmelsgewölbe sichtbaren Stern. Ist dieses ein Fixstern, so darf er sich nur als Feuerpunkt darstellen. Da die scharfe Begrenzung des Bildes ein so wesentliches Erforderniß ist, so wird man einen Doppelstern als besonders gutes Probeobject ansehen dürfen, weil er nur dann in zwei scharf von einander geschiedene Sterne aufgelöst wird, wenn jene Begrenzung stattfindet. Für schwächere Instrumente leistet eine feine, hinreichend entfernte Schrift, oder eine aus parallelen schwarzen Linien bestehende, auf weißem Papier befindliche Zeichnung gute Dienste. Die genannte Schärfe der Ränder soll aber nicht blos dann stattfinden, wenn das Object in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint, sondern dies muß auch außer der Mitte bis nahe am Glasrande der Fall sein, jedoch ist selbst bei den besten Fernröhren die Lichtstärke da etwas geringer, weil von den außer der Axe liegenden Punkten weniger Lichtstrahlen ins Auge kommen können, als von denen, die sich in oder zunächst um die Axe befinden. Ein Instrument, bei dem dieser Unterschied der Helligkeit gar auffallend ist, verträgt wegen Fehler des Objects nicht die gehörige Oeffnung des Oculars, und kann nicht auf den ehrenvollen Namen eines ausgezeichneten Anspruch machen, noch weniger ist dies bei dem der Fall, das in gleicher Entfernung von der Axe, aber nach verschiedenen Seiten eine ungleiche Deutlichkeit zeigt. Manche achromatische Instrumente haben diesen Fehler, weil das zum Objectiv gebrauchte Flintglas nicht homogen genug ist und an verschiedenen Stellen ein verschiedenes Brechungs- und Zerstreuungsvermögen hat, oft liegt es auch in dem Mangel der gehörigen Figur der Objectivlinse. Wenn man durch das Objectivglas auf das Ocular sieht, so soll man selbst von der äußersten

---

*) Optische Untersuchungen, 3 Theile. Leipzig 1846, 1847 und 1851, besonders I. Cap. 6: Allgemeine Theorie der Fernröhre und Mikroskope.

**) Praktische Dioptrik als vollständige und gemeinfaßliche Anleitung zu Verfertigung achromatischer Fernröhre rc. Wien 1828.

***) Die Naturlehre, Supplementband. Wien 1831. S. 611.

Stelle des ersteren noch durch letzteres sehen können. Bei Frauenhofer's Instrumenten ist dies immer, bei den englischen selten der Fall. Lerebour's sonst gepriesene Instrumente, selbst der größten Art, sind diesem Fehler sehr stark unterworfen. Wo dieser eintritt, da ist wieder der oben gerügte Fehler einer schlechten Oeffnung des Oculars vorhanden, und es ist wahrscheinlich selbst das Objectiv fehlerhaft construirt. Ein Objectiv, das den Namen eines achromatischen verdienen soll, muß bekanntlich die äußersten, lebhaftesten Farben mit den mittleren Strahlen des Farbenbildes vereinigen. Aber von zwei Objectiven, deren jedes dieses leistet, kann doch eines dem anderen vorzuziehen sein, weil in einem der Rest der Farben weniger zerstreut sein kann, als in dem andern. Um sie mit einander zu vergleichen, richtet man die Fernröhre, an denen sie sich befinden, auf einen entfernten verticalen Gegenstand, z. B. auf einen Kamin, deckt die eine verticale Hälfte des Objectivs mittelst eines Schirmes und betrachtet mit dem schärfsten Ocular jenes Object; da muß man den verticalen Rand desselben und alle verticalen Linien an demselben deutlich sehen, wenn die Farbenzerstreuung gehoben sein soll, und dasjenige Objectiv wird das beste sein, wo hierin die größte Deutlichkeit stattfindet. Dabei darf man sich aber durch die erscheinenden Farben nicht beirren lassen und soll nur auf die Schärfe und Deutlichkeit sehen. Doch ist es nicht gleichgültig, welche Farbe bei einem zum Theile gedeckten Objective erscheint. Ein violetter Farbensaum schadet weniger, als ein gelber oder oranger, weil erstere Frabe im ganzen Farbenbilde die geringste, letztere aber die größte Intensität hat. Wenn man das Ocular über die Stelle des deutlichen Sehens hinauszieht, so zeigt jedes Fernrohr selbst mit ganzem Objectiv Farbensäume, und zwar deshalb, weil es nicht alle farbigen Strahlen in einem Punkte zu vereinigen vermag. Aber auch hier ist es nicht einerlei, welche Farbe erscheint. Wird das Ocular zu weit herausgezogen, so können die Ränder schwach weinroth, wird es aber zu weit hineingeschoben, können sie grüngelblich sein, und doch wird man dem Objectiv die möglichste Vollkommenheit nicht absprechen können; denn diese Farben entsprechen den mittelst zweier Gläser nicht zu vereinigenden Strahlen.

Um die Vergrößerungszahl eines Fernrohrs praktisch zu bestimmen, kann man sich verschiedener Methoden bedienen. Kommt es auf keine ganz genaue Bestimmung an und überschreitet die Vergrößerung nicht das 20- oder 30fache, so richte man das Fernrohr auf ein Ziegeldach oder gegen einen Staketenzaun, und besehe den Gegenstand mit dem einen Auge durch das Fernrohr, während das andere frei neben dem Rohre weg auf denselben Gegenstand hinblickt. Sehen beide Augen gleich gut, so giebt eine Vergleichung der beiden Ansichten die Vergrößerung. Diese Methode fordert aber einige Uebung. Man erleichtert selbst dem Ungeübten die Anwendung derselben und macht sie zugleich für sehr stark vergrößernde Instrumente brauchbar, wenn man vor dem Ocular einen kleinen ebenen Mittelspiegel so anbringt, daß seine spiegelnde Ebene unter 45° gegen die Axe des Rohres geneigt ist, acht Zoll hinter dem Spiegel eine Tafel aufstellt, auf deren schwarzem Grunde eine weiße Linienscala verzeichnet ist, und eine gleiche Tafel in einer bestimmten Entfernung von dem Fernrohre anbringt. So kann man mit demselben Auge in den Spiegel und neben demselben vorbeisehen und so das Bild im Fernrohre auf der Scala hinter dem Spiegel projicirt erblicken und beobachten, wie viele Felder der direct gesehenen Scala in ein Feld des Bildes fallen. Da man nun weiß, unter welchem Winkel ein Zoll in einer bestimmten

Entfernung vom Auge erscheint und zugleich denselben Winkel für das Stück der direct gesehenen Scala kennt, welches vom Bilde gedeckt wird und sich in der deutlichen Sehweite = 8 Zoll befindet; so ist es ein Leichtes, die Vergrößerungszahl zu berechnen. Dazu dient, wenn die absolute Größe des Objects = a, die Entfernung, in welcher es sich befindet = d, das Stück der Scala, welches a deckt = A ist, die Formel $\frac{A\,d}{8\,a}$, welche nämlich die Vergrößerungszahl des Fernrohrs angiebt. — Auch besitzt man besondere Instrumente, um die Vergrößerung bei den Fernröhren, mit Ausnahme der galilei'schen, zu bestimmen; sie werden Auxometer oder Auzometer oder Dynamometer genannt und es findet sich das Betreffende in dem Art. Auxometer Bd. I. S. 651.

Das Gesichtsfeld eines Fernrohres ermittelt man praktisch am zweckmäßigsten durch eine Vergleichung mit dem bekannten Durchmesser eines sichtbaren Gegenstandes, z. B. der Sonne oder des Mondes, deren Durchmesser ungefähr 30 Minuten beträgt, oder durch Beobachtung der Zeit, welche ein bekannter Stern gebraucht, um den ganzen Durchmesser des Gesichtsfeldes zu durchlaufen. Man befestigt das Fernrohr in der Richtung gegen den Stern, läßt ihn mitten über das Feld des Fernrohres, oder, falls das Rohr mit einem Fadenkreuze versehen ist, am horizontalen Faden hingehen, und zählt, wie viel Secunden Zeit während dieses Durchganges verstreichen. Da für jeden bekannten Stern, dessen Declination man weiß, bekannt ist, welchen Bogen er in gegebener Zeit durchläuft, so giebt eine solche Beobachtung unmittelbar die Größe des Feldes in Minuten und Secunden. Steht der Stern im Aequator, so betragen je vier Zeitsecunden eine Winkelminute.

Bestaubte Linsen hindern natürlich die Wirksamkeit eines Fernrohres, man muß sie daher aus den Röhren herausnehmen, reinigen und wieder einsetzen, wobei man, namentlich um die Centrirung des Fernrohrs nicht zu zerstören, sehr vorsichtig zu Werke gehen muß. Besondere Vorsicht muß man bei den achromatischen Doppellinsen anwenden, bei denen sich Staub zwischen die beiden Bestandtheile gezogen hat, und nicht ganz leicht weggeschaft werden kann. Baumgartner giebt folgendes Verfahren an. Will man die Reinigung einer solchen Linse vornehmen, so nimmt man die Schräubchen oder den Ring weg, der sie zusammenhält und trennt die Gläser von einander, merkt aber wohl, welche Flächen gegen einander standen. Oft liegen zwischen den zwei Linsen kleine Stanniolplättchen, die erst durch Naßmachen sich loslösen lassen. Auch die Stellen, wo sie sich befinden, muß man sich merken. Hierauf werden die Gläser zuerst mit einem in Weingeist getauchten Tuche geputzt, hierauf in Kreidewasser gewaschen und mit einem Linnentuche wohl abgetrocknet. Zuletzt kehrt man den noch daran haftenden Staub mit einem Pinsel ab. Selten wird man die Stanniolplättchen zum zweiten Male brauchen können, man muß sich darum neue zu verschaffen wissen, die vollkommen gleich dick sind. Zu diesem Ende schneidet man von einem gut gewalzten Stanniolstreifen mehrere rechtwinkelige Stücke los, legt die zwei Gläser in der bestimmten Lage auf einander und bezeichnet die drei Punkte, wohin die Plättchen kommen. Hierauf legt man ein Plättchen an eine bestimmte Stelle und schiebt es so weit zwischen die Gläser hinein, als die Fassung reicht. Da wird man irgendwo farbige Ringe bemerken, welche ihren gemeinschaftlichen Mittelpunkt an der Berührungsstelle der

zwei Linsen haben. Man messe mit einem Zirkel den Abstand dieses Punktes vom Rande, wo sich das Plättchen befindet, ziehe dann letzteres heraus, ersetze es durch ein anderes und bestimme neuerdings den Abstand des Mittelpunktes der Farbenringe von demselben Rande. Ist dieser Abstand dem vorigen gleich, so haben beide Plättchen einerlei Dicke, wo nicht, so sind sie ungleich dick, und man muß das vorige Verfahren so oft wiederholen, bis man drei gleich dicke Stücke gefunden hat. Diese werden nun an ihren bestimmten Platz gebracht, nachdem man sie mit einer schwachen Gummilösung benetzt hat, etwas zusammengedrückt, der hervorstehende Theil derselben weggeschnitten und die Gläser dann in die Fassung gebracht. Man muß sich hüten, die Gläser zu stark oder ungleich an einander zu pressen. H. E.

Festigkeit (franz. résistance, engl. strength) nennt man den Widerstand, welchen ein Körper der Trennung seiner Massentheilchen entgegensetzt. Die Theile eines Körpers hängen mit einer gewissen Kraft unter einander zusammen, die man Cohäsion (siehe diesen Artikel) nennt, und die zu überwinden ist, wenn Körper eine Veränderung in ihrer Gestalt und Ausdehnung, oder eine Zertheilung erfahren.

Da äußere Kräfte auf verschiedene Weise auf Körper einwirken und deren Theilchen in ihrer gegenseitigen Lage stören können, so unterscheidet man auch verschiedene Arten von Festigkeit.

Die Kraft, welche ausreicht einen Körper zu zerreißen, heißt die absolute Festigkeit (résistance de traction, strength of extension) des Körpers (in der Richtung dieser Kraft).

Die Kraft, welche genügend ist einen Körper (mittelst einer Hebelunterlage) zu zerbrechen, heißt seine relative Festigkeit (résistance de flexion, strength of flexure).

Die Kraft, welche gerade zureicht einen Körper zu zerdrücken oder zu zerquetschen, wird seine rückwirkende Festigkeit (résistance de compression, strength of compression) genannt.

Suchen endlich Kräfte einen Körper nach entgegengesetzter Richtung um seine Axe zu drehen, ohne daß dieselben in einerlei Normalebene zur Axe wirken, so ist die drehende oder Torsions-Festigkeit (résistance de torsion, strength of torsion) zu überwinden.

I. Absolute Festigkeit. Die zum Zerreißen eines Balkens, Drahtes, Seiles ꝛc. in seiner Längenrichtung nöthige und gerade ausreichende Kraft (während das andere Ende an einem unbeweglichen Körper befestigt ist, oder am anderen Ende eine gleiche Kraft in entgegengesetzter Richtung wirkt) ist allemal mit dem Querschnitte des Körpers proportional.

Ist F das Gewicht oder die Kraft, welche einen Körper vom Querschnitt Eins zu zerreißen vermag, so hat man für die absolute Festigkeit eines Körpers vom Querschnitt q den Ausdruck $P = qF$.

Diese Formel läßt sich nun, wenn F (der sogenannte Festigkeitsmodul) erfahrungsmäßig gegeben ist, benutzen, um die Tragfähigkeit eines Körpers von gegebenem Querschnitte zu bestimmen, indem man von F, je nach der Natur des Materials, einen bestimmten Bruchtheil nimmt. Ist umgekehrt das Gewicht P gegeben, womit ein Körper belastet werden soll, so kann man aus dieser Formel den Querschnitt q berechnen, welchen der Körper erhalten muß, um nicht zerrissen zu werden.

Wenn aber der Elasticitätsmodul ε (s. Elasticität) bekannt ist, so läßt sich daraus der sogenannte Tragmodul bestimmen, und dann ohne Weiteres eine Formel für die Tragfähigkeit der Körper aufstellen. Der Tragmodul bezeichnet nämlich eine Kraft T, welche erforderlich ist, um einen Körper vom Querschnitte Eins und der Länge l bis zur Grenze der Elasticität auszudehnen. Bedeutet nun λ noch, wie gewöhnlich, die Längenausdehnung, welche der Elasticitätsgrenze gerade entspricht, so besteht die Relation $\frac{T}{\varepsilon} = \frac{\lambda}{l}$, woraus sich T ergiebt. Für die Tragfähigkeit eines Körpers vom Querschnitte q hat man dann $P = qT$.

Wenn ein parallelepipedischer Körper von bedeutender Länge, der an einem Ende befestigt, vertikal herabhängt, so versteht sich von selbst, daß sein Gewicht zum Zerreißen mitwirkt und also von seiner Tragkraft in Abzug zu bringen ist.

In neuerer Zeit hat Wertheim *) Arbeiten geliefert über die Elasticität und Cohäsion der Metalle. Derselbe giebt folgende Verhältnißwerthe an für den Widerstand der Metalle beim Reißen:

Widerstände beim Reißen.

	Bei 15° — 20° C.		Bei 200° C.	Bei 200° C.
	langsames Reißen	plötzliches Reißen		
Blei, gegossen	1,25	2,21		
„ ausgezogen . . .	2,07	2,36		
„ angelassen . . .	1,80	2,04	0,54	
Zinn, gegossen	3,40	4,16		
„ ausgezogen . . .	2,45	2,94 — 3,00		
„ angelassen . . .	1,70	3,57 — 3,62	0,85	
Kadmium, ausgezogen . .	2,24			
„ angelassen . .		4,81	2,60	
Gold, ausgezogen . . .	27,00	26,6 — 28,4		
„ angelassen . . .	10,08	11,0 — 11,1	12,60	12,06
Silber, ausgezogen . .	29,00	29,6		
„ angelassen . . .	16,02	16,3 — 16,5	14,00	16,00
Zink, destill. gegossen . .	1,50			
„ gewöhnl. ausgezogen	12,80	15,77		
„ angelassen . . .		14,40	12,20	7,22
Palladium, ausgezogen .		27,20		
„ angelassen . .	27,40			

*) Annal. de chim. et phys. (3) p. 3852. 581. — Compt. rend. T. XV. p. 110. — Poggend. Ann. Bd. LVII. S. 382. Ergänz. Bd. II. S. 1.

	Bei 15° — 20° C. langsames Reißen	Bei 15° — 20° C. plötzliches Reißen	Bei 200° C.	Bei 200° C.
Kupfer, ausgezogen . .	40,30	41,00		
„ angelassen . . .	30,54	31,55—31,68	32,10	
Platin, ausgezogen . .	34,10	35,0		
„ angelassen . . .	23,50	25,8 — 27,7	22,60	19,70
Eisen, ausgezogen . . .	61,10	62,5 — 65,1	51,10	46,90
„ angelassen . . .	46,88	50,25		
Gußstahl, ausgezogen . .		83,80		
„ angelassen . .	65,70			
Stahldraht, ausgezogen .	70,00	85,9 — 99,1		
„ angelassen .	40,00	53,90	59,10	50,90
Antimon, gegossen . . .		0,65 — 0,70		
Wismuth, gegossen . .		0,97		

Man sieht, daß das Anlassen den Widerstand beim Reißen sehr bedeutend verringert. Die Werthe dieser Größen beruhen so zu sagen auf der Nichthomogeneität der dem Versuch unterworfenen Metalle, denn ein vollkommen homogener Draht muß sich bis ins Unendliche ausfädeln, oder darf vielmehr, wenn die Theilchen einen solchen Abstand erreicht haben, daß, wenn man sie noch weiter trennt, die Resultante der Molecularkräfte kleiner wird, als die angewandten Belastungen, nicht an einer Stelle reißen, sondern muß gänzlich zu Pulver zerfallen.

Wertheim giebt auch noch Zahlen für die Widerstände einer großen Anzahl von Metalllegirungen *) beim Reißen. Ich will sie in folgender Tabelle anführen.

Metallgemisch	Zusammensetzung	Cohäsion	Metallgemisch	Zusammensetzung	Cohäsion
Blei, Zinn	$Pb_{16}\ Sn_{13}$	0,93	Blei, Gold	$Pb_{20}\ Au$	4,74
	$Pb\ Sn$	2,46	Blei, Platin	$Pb_{25}\ Pt$	1,65
	$Pb_3\ Sn_7$	2,07	Blei, Zink	$Pb_6\ Zc$	2,75
	$Pb_2\ Sn_7$	1,07		$Pb_4\ Zc$	2,02
Blei, Wismuth	$Pb_{12}\ Bi_7$	1,52		$Pb_2\ Zc$	2,02
	$Pb\ Bi$	1,79		$Pb\ Zc$	3,47
	$Pb\ Bi_2$	5,22		$Pb_2\ Zc_3$	3,40
Blei, Antimon	$Pb_2\ Sb$	1,87		$Pb\ Zc_{10}$	4,40
	$Pb\ Sb$	5,59	Blei, Kupfer	$Pb_5\ Cu$	2,13

*) Poggend. Ann. Ergänzbd. II. S. 73.

Metallgemisch	Zusammensetzung	Cohäsion	Metallgemisch	Zusammensetzung	Cohäsion
Zinn, Wismuth	$Sn_9\ Bi_{10}$	8,19	Zink, Kupfer	$Zc\ Cu$	18,68
	$Sn_3\ Bi_4$	6,63		$Zc_3\ Cu_4$	36,80
Zinn, Antimon	$Sn_4\ Sb$	8,86	Reines Messing	$Zc\ Cu_2$	60,22
	$Sn_8\ Sb_5$	7,82	Käufl. Tomback	dito	32,5
Zinn, Zink	$Sn_2\ Zc$	5,78	Berlin. Messing	$Zc_8\ Cu_{17}$	65,1
	$Sn_3\ Zc_2$	5,00	Similor	$Zc\ Cu_6$	51,9
	$Sn\ Zc$	4,68	Blei, Wismuth, Zinn	$Pb_2\ Bi_3\ Sn_2$	1,74
	$Sn_3\ Zc_7$	2,44			
	$Sn\ Zc_3$	4,32	Blei, Antimon, Zinn	$Pb_4\ Sb_2\ Sn_5$	7,80
Zinn, Zink	$Sn\ Zc_5$	7,52			
Zinn, Platin	$Sn_{50}\ Pt$	4,75	Blei, Zinn, Zink	$Pb_{14}\ Sn_4\ Zc_9$	1,44
Zinn, Eisen	$Sn_{20}\ Fe$	2,40	Zinn, Antimon Kupfer	$Sn_4\ Sb_2\ Cu_3$	4,17
Siber, Pallad.	$Ag_2\ Pd_3$	50,46			
Silber, Kupfer	$Ag_5\ Cu$	44,05	Art Neusilber	$Zc_4\ Cu_{18}\ Ni_5$	61,88
	$Ag\ Cu$	51,97	Geschmeidig Packfong	$Zc_5\ Cu_6\ Ni_3$	55,0
Gold, Platin	$Au_7\ Pt_2$	7,12			
Gold, Eisen	$Au_{19}\ Fe_2$	20,41	Käufl. Packfong	$Zc_2\ Cu_5\ Ni_3$	68,1
Zink, Kupfer	$Zc_{13}\ Cu_4$	4,10			

Der bloße Anblick der Tafel zeigt, daß die Werthe nicht die geringste Regelmäßigkeit darbieten; da überdies die gefundenen Zahlen nicht einmal für ein und dieselbe Legirung constant sind, so wäre es unnütz sie weiter zu erörtern.

Werthheim hat auch Versuche darüber angestellt, ob der galvanische Strom die Elasticität und Festigkeit der Metalle *) ändere, ist aber zu keinem entscheidenden Resultate gekommen.

Chevandier und Wertheim untersuchten noch die Festigkeit verschiedener Glassorten und geben folgende Tabelle **).

	Widerstand beim Abreißen
Fensterglas aus der Hütte von St. Quirin	1,763
Spiegelglas aus der Hütte von Cirey	1,400
Ungefärbtes bleifreies Krystallglas (verre à gobleterie) aus der Hütte von Valerysthal	1,002
Weißes und farbiges Krystallglas aus der Hütte von Boccarat	0,665

*) Poggend. Ann. Ergänzbd. II. S. 99.

**) Annal. de Chim. et Phys. (3). T. XIX. p. 129. 252. — Compt. rend T. XX. p. 1637. — Poggend. Ann. Ergänzbd. II. S. 115.

In folgender Tabelle *) sind die Trag- und Festigkeitsmodule verschiedener, im Bauwesen am häufigsten vorkommender Stoffe aufgeführt, für den Querschnitt = 1 Quadratzoll.

Namen der Körper	Tragmodul	Festigkeitsmodul	Sicherheitsmodul
	Pfund	Pfund	Pfund
Buchen-, Eichen-, Fichten-, Kiefern- und Tannenholz	3000	12000	1200
Eisen in Drähten . . .	21000	85000	14000
Eisen in Stäben	20000	58000	10000
Eisen in Blech		55000	9000
Gußeisen	14000	19000	3000
Stahl.	36000	120000	20000
Gehärteter Gußstahl . . .	96000	146000	24000
Kupfer		35000	6000
Kupferdraht		73000	12000
Messing	7000	18000	3000
Messingdraht	20000	73000	12000
Glockengut	30000	34000	5600
Blei	1500	1900	320
Bleidraht.	700	2000	340
Marmor		2000	200
Seile unter 1 Zoll dick . .		9000	3000
Seile 1 — 3 Zoll dick . .		7000	2300
Seile über 3 Zoll dick . .		5000	1700
Riemen			290

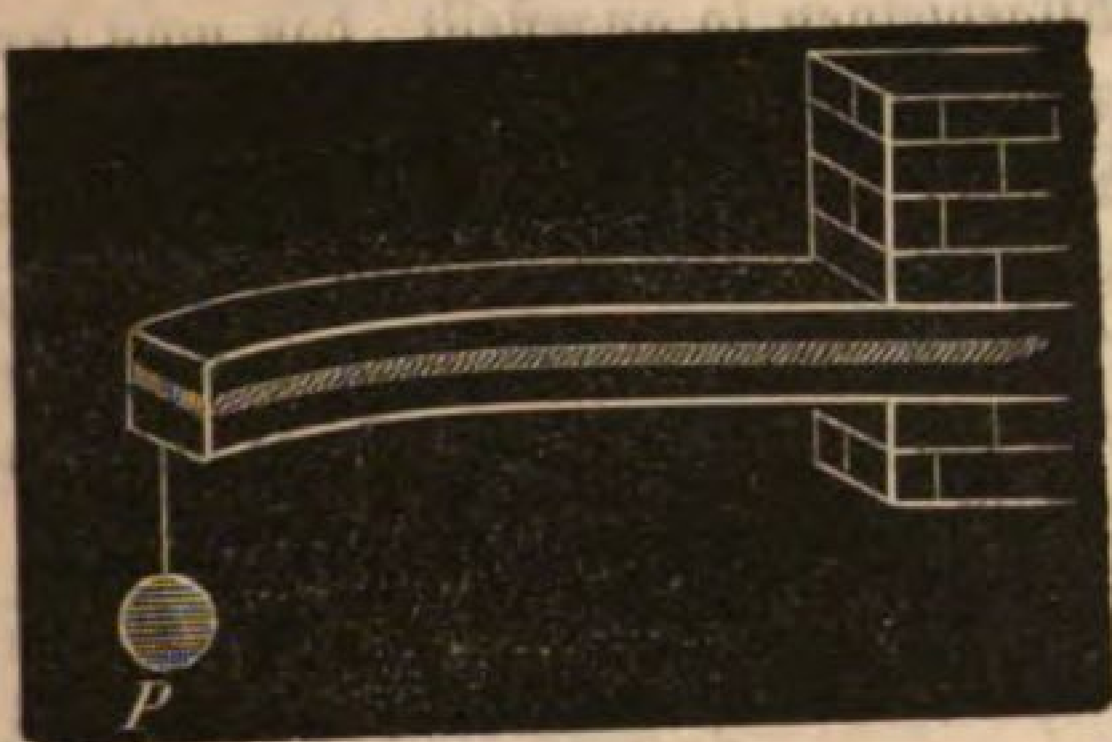
Die vierte Columne ergiebt sich aus der dritten, wenn man bei Hölzern durch zehn, bei Metallen durch sechs und bei Seilen durch drei dividirt.

Gezogener Draht ist den Versuchen zufolge viel fester als gewöhnlich gearbeitetes Metall, was daher rührt, daß sich beim Drahtziehen ein dichterer, festerer Ueberzug bildet. Seguin fand auch, daß dünne Drähte verhältnißmäßig mehr Festigkeit als dickere von demselben Metalle besitzen. So sind auch Seile, die aus vielen Eisendrähten gewunden sind, stärker als gleich schwere Stäbe vom Eisen. Stricke von derselben Dicke sind im Allgemeinen desto stärker, je feiner der Flachs oder Hanf, aus dem sie verfertigt, und je weniger sie zusammengedreht sind. Durch das Zusammendrehen werden die Fäden schon in einen gespannten Zustand versetzt, der auf ihre Festigkeit in gleicher Weise wirkt, als wenn sie schon ein Gewicht trügen. Um diesen durch das Drehen herbeigeführten Verlust zu vermeiden, hat man schlauchförmige, gewebte Stricke vorgeschlagen. Aehnlichen Einfluß wie das Drehen hat auf die Festigkeit der Stricke das Naßwerden und Theeren derselben. Geflochtene Schnüre sind stärker als gedrehte. Auch durch das Bleichen wird die Festigkeit vermindert. Seidene Schnüre sind etwa dreimal so stark, als gleich dicke leinene.

*) Weisbach, Ingen. u. Masch. Mechan. Bd. I. S. 197.

Was die Festigkeit der Hölzer anlangt, so ist diese selbst bei derselben Baumart sehr verschieden, sowohl nach den verschiedenen Gegenden, in denen sie wächst, als auch in den verschiedenen Theilen jedes einzelnen Baumes. Das Holz am Kern und an der Wurzel ist stärker, als das am Splint und Gipfel.

II. Die relative Festigkeit. Wir wollen annehmen, ein Körper, der horizontal an einem Ende befestigt ist, werde am anderen freien Ende durch ein Gewicht P beschwert. Beispielsweise sei es ein rechtwinkeliges Parallelepiped, das aus einer Vermauerung hervorrage. Es ist nun ersichtlich, daß der Körper bei hinreichender Größe von P sich biegen muß, indem die Molecüle an seiner oberen Fläche gedehnt und deshalb von einander entfernt, dagegen die an der unteren ineinander gedrückt werden. Denkt man sich überdies den Körper durchweg in dünne Schichten zerlegt, welche parallel zur Axe, aber senkrecht gegen die Richtung der Kraft P sind, so läßt sich eine mittlere Schicht unterscheiden, welche durch die Biegung keine Spannung und darum auch keine Veränderung in ihrer Länge erfährt, während die Schichten auf der convexen Seite ausgedehnt und die auf der concaven verkürzt werden. Man nennt diese mittlere Schicht, welche durch den Schwerpunkt des Querschnitts vom ganzen Körper geht, die neutrale Axenschicht oder kürzer die neutrale Axe. Letztere bildet eine eigenthümliche Curve, welche unter dem Namen der elastischen Linie bekannt ist, und deren analytische Betrachtung der Artikel Linie, elastische enthält. Daselbst wird auch vorkommen die Entwickelung des sogenannten Biegungsmomentes, das ein Maß ist für die Kraft der Elasticität, womit der Körper in irgend einem seiner Querschnitte der Biegung widersteht.



Wenn der Querschnitt des Körpers ein Rechteck von der Breite b und der Höhe h ist, so ist das Biegungsmoment $= \frac{\varepsilon \cdot bh^3}{\varrho\, 12}$, wo ε wieder den Elasticitätsmodul und ϱ der Krümmungshalbmesser der elastischen Linie im entsprechenden Punkte des Querschnitts bedeutet. Hieraus ergiebt sich das Brechungsmoment, wenn man für $\frac{\varepsilon}{\varrho}$ den Quotienten $\frac{F}{\frac{h}{2}}$ einführt, dessen Zähler die bekannte absolute Festigkeit und dessen Nenner den Abstand der entferntesten, oberen oder unteren, Faser von der neutralen Axe ausdrückt. Man hat also das Brechungsmoment $= \frac{F \cdot bh^2}{6}$, welches für den Fall des Zerbrechens dem Moment der einwirkenden Kraft P gleich sein muß. Bezeichnet nun l die Entfernung des Angriffspunktes der Kraft von der Brechungsebene, so erscheint $Pl = \frac{F \cdot bh^2}{6}$ und hieraus die relative Festigkeit $P = \frac{F \cdot bh^2}{6\, l}$.

Erfolgt ein Zerbrechen, so wird dies, gleichförmige Dichtigkeit des Körpers vorausgesetzt, da geschehen, wo der letztere aus der Mauer hervorragt; denn hier hat die Kraft P das größte Moment, und das Gewicht des Körpers wirkt überdies mit, um daselbst die Theilchen zu trennen.

Die Tragfähigkeit eines Körpers bestimmt sich nun, wenn man in der Formel einen gewissen aliquoten Theil des durch Versuche ermittelten Festigkeitsmodul F setzt. Statt des letzteren braucht man aber auch den sogenannten Brechungsmodul, welcher die Kraft oder das Gewicht bezeichnet, das erforderlich ist, um einen Körper vom Querschnitt Eins zu zerbrechen.

Die betreffenden Versuche werden im Allgemeinen so angestellt, daß man den Körper horizontal an einem Ende oder an beiden Enden unterstützt, und dann außerhalb der Unterstützungspunkte so viel Gewicht anbringt, bis das Zerbrechen stattfindet. Der mittlere Werth des Brechungsmodul wird für Gußeisen zu 40000, für Holz zu 12000 angegeben. Von der ersten Zahl nimmt man dann, der Sicherheit wegen, den vierten, von der andern den zehnten Theil. Diese Werthe wären also für F in die obige Formel einzuführen.

Das Gewicht des Körpers, das von der Tragkraft abzuziehen ist, läßt sich betrachten als eine Last, die gleichförmig auf dem Körper verbreitet ist. Das Moment desselben ist aber für unseren Fall, wo der Körper an einem Ende befestigt ist, $\frac{G\,l}{2}$, indem $\frac{l}{2}$ der Abstand des Schwerpunktes vom Unterstützungspunkte ist.

Ein Blick auf die obige Formel läßt erkennen, daß die relative Festigkeit und Tragkraft im directen Verhältniß mit der Breite und dem Quadrate der Höhe, aber im umgekehrten mit der Länge des Körpers steht. Es trägt demnach ein Balken von doppelter Breite doppelt so viel als der einfache, während der doppelt so hohe das Vierfache des einfachen zu tragen vermag.

Ist ein Balken an einem Ende befestigt, die Last aber gleichförmig auf derselben vertheilt, so beträgt seine Tragkraft das doppelte von der im vorigen Falle, wo die Kraft an dem freien Ende angebracht ist. Liegt der Balken mit beiden Enden auf und befindet sich die Last in der Mitte, so wird die Tragkraft das vierfache. Und es tritt abermals eine Verdoppelung ein, wenn die Last in diesem Falle gleichförmig auf den Balken vertheilt ist. Wenn der Balken an beiden Enden befestigt, z. B. eingemauert ist, so entsteht auch an den Enden und nicht allein in der Mitte ein Maximum der Biegung, so daß derselbe dort und hier zugleich zerbricht. Seine Tragkraft ist aber noch einmal so groß, als wenn er mit den Enden frei aufliegt.

Für einen gleichförmigen, an beiden Enden aufliegenden parallelepipedischen Körper, bei dem die Last in der Mitte aufliegt, hat man die Formel $P = \frac{4\,f\,b\,h^2}{6\,l} = \frac{2\,f\,b\,h^2}{3\,l}$ und mit Rücksicht auf das Gewicht des Körpers

$$P + \tfrac{1}{2}\,G = \frac{2\,f\,b\,h^2}{3\,l}.$$

Hiernach berechnet sich das Gewicht P, welches der Körper auf die Dauer mit Sicherheit tragen kann, wenn man nach Tredgold unter f das Gewicht versteht,

das ein derartiger Körper vom Querschnitt Eins zu tragen vermag, ohne seine Form bleibend zu ändern. Daß die Tragkraft eines Balkens bei gleichförmiger Vertheilung der Last doppelt so groß wird, ist bereits erwähnt.

Im Artikel Elasticität Bd. II. S. 712 ist in einer Tabelle nach Tredgold für verschiedenartige Körper das Gewicht f angegeben, welches 1 Quadratzoll englisch ohne Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze tragen kann.

Für Cylinder gelten im Ganzen dieselben Bestimmungen, wie für parallelepipedische Balken. Das Brechungsmoment eines Cylinders vom Halbmesser r ist $= \frac{F}{r} \cdot \frac{\pi r^4}{4}$ und hieraus die relative Festigkeit $P = \frac{F \cdot \pi r^3}{4 l}$.

Die Tragkraft ergiebt sich wieder, wenn man von der bekannten absoluten Festigkeit F einen bestimmten Bruchtheil nimmt, oder statt dessen den sogenannten Tragmodul einführt. Ist ein Cylinder an beiden Seiten unterstützt, so hat man für die Last in der Mitte, welche derselbe mit Sicherheit tragen kann, nach Tredgold die Formel $P = \frac{0{,}7854\, f d^3}{2 l}$, in welcher d der Durchmesser des Cylinders ist und f die obige Bedeutung hat.

Häufig benutzt man statt der massiven parallelepipedischen und cylindrischen Körper hohle, welche bei gleicher Masse, und wenn sie sonst durchweg gleichmäßig gearbeitet sind, eine größere Festigkeit als jene haben. Man erhält das Brechungsmoment eines hohlen parallelepipedischen Balkens, wenn man das Moment der Höhlung von dem des vollen Balkens abzieht. Das letztere ist, wenn b und h die äußere Breite und Höhe bezeichnen, (S. 127) $\frac{b h^3}{12} \cdot \frac{F}{\frac{h}{2}}$, das erste $\frac{b_1 h_1^3}{12} \cdot \frac{F}{\frac{h}{2}}$, wofern b_1 und h_1 die innere Breite und Höhe vorstellen. Demnach ist das Moment des hohlen Balkens $\frac{b h^3 - b_1 h_1^3}{6 h} \cdot F$ und die relative Festigkeit $P = \frac{b h^3 - b_1 h_1^3}{6 h l} \cdot F$, eine Formel, die auch für einen an der Seite ausgehöhlten Balken gilt.

Für einen hohlen Cylinder aus Eisen, dessen äußerer Halbmesser r und innerer r_1 ist, hat man auf gleiche Weise $P = \frac{\pi}{4} \left(\frac{r^4 - r_1^4}{l} \right) \frac{F}{r}$. Meist pflegt man hier $r - r_1$, d. h. die Dicke des massiven Theils $= \frac{2}{5}\, r$ zu setzen.

Wenn man die Tragkraft eines Balkens von quadratischem Querschnitte mit der eines aus ihm verfertigten Cylinders vergleicht, so zeigt die Rechnung, daß sich jene zu dieser verhält wie 1 : 0,5895. Soll aber ein Balken, den man aus einem runden Stück Bauholz haut oder schneidet, die größte Tragkraft erhalten, so muß die Höhe zur Breite des Querschnitts sich verhalten wie $\sqrt{2} : 1$ oder nahe wie 7 : 5. Dieses Verhältniß ergiebt sich leicht, wenn man den Durchmesser des auf der Länge des Stammes senkrecht stehenden Durchschnittskreises in drei gleiche Theile theilt, in den beiden Theilpunkten Senkrechte errichtet, und dann die

Berührungspunkte des Durchmessers und dieser Senkrechten mit der Peripherie durch Linien zu einem Rechtecke verbindet.

Bemerkenswerth ist der Körper von gleichem Widerstande (corps d'égale résistance, body of the strongest form), worunter man einen solchen versteht, der in allen Querschnitten dem Zerbrechen gleichen Widerstand entgegensetzt. Er ist unter allen Körpern von gleicher Festigkeit derjenige, welcher die kleinste Menge von Materie erfordert. Wenn ein Balken von quadratischem Querschnitt die Form eines Körpers von gleichem Widerstande erhalten soll, so muß das Längenprofil die Form einer Parabel haben, deren Scheitel der Angriffspunkt der Last ist. Ist aber der Balken in der Mitte unterstützt, und an seinen Enden von zwei Kräften ergriffen, die sich das Gleichgewicht halten, so erhält das Längenprofil die Form von zwei in der Mitte zusammenstoßenden Parabeln, — ein Fall, der bei Balanciers vorkommt.

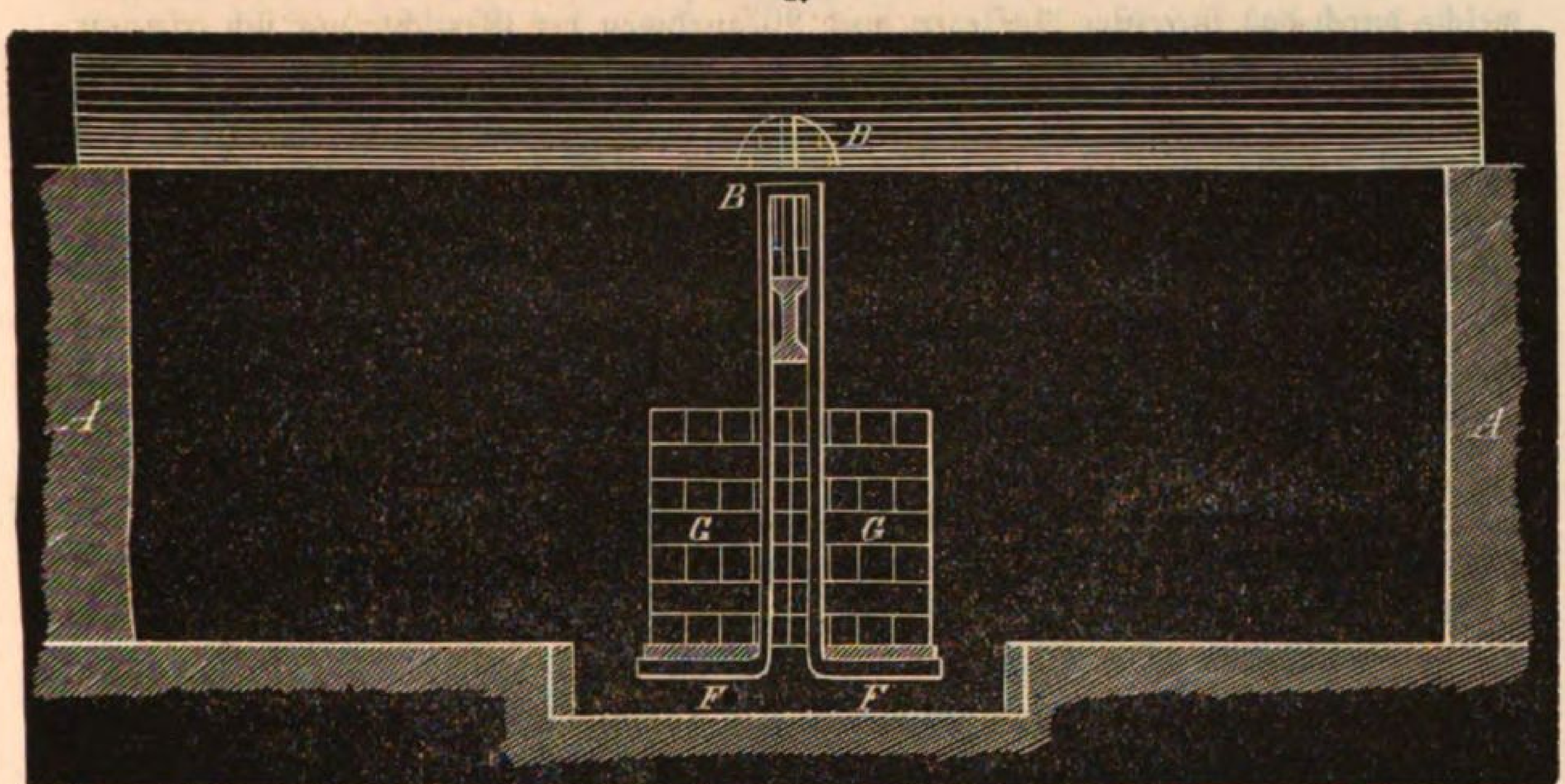
Von besonderem Interesse und bedeutender Wichtigkeit sind die, in neuerer Zeit in England angestellten Versuche über die relative Festigkeit hohler schmiedeeiserner Träger, der sogenannten Röhrenträger. Bis vor Kurzem hatte die Festigkeit einer Combination von schmiedeeisernen Platten gegen transversale Pressungen die Aufmerksamkeit der Experimentatoren noch nicht auf sich gezogen. Als Robert Stephenson die originelle und kühne Idee einer Eisenblechröhre, durch welche sich Eisenbahnzüge bewegen könnten, faßte, war vor Allem die Ausführbarkeit des Entwurfs durch Experimente nachzuweisen und die Vertheilung des Materials in der Weise zu bestimmen, daß für einen bestimmten Gesammtquerschnitt eine Maximalstärke erzielt werde. Durch eine Reihe von vortrefflichen Experimenten zeigte William Fairbairn, daß solch eine Röhre die Form eines rectangulären Trägers haben müsse, dessen Platten an der obern Seite in der Gestalt von Röhren oder Zellen zusammenzufügen seien, um dem Bestreben des Bleches unter starkem Drucke zusammenzuschrumpfen zu begegnen, und daß die Flächen des Ober- und Untertheils sich wie 12 : 11 zu verhalten hätten. Ich will das Hauptsächlichste der Fairbairn'schen und einiger andern Versuche hier darlegen und die Resultate derselben anführen *).

Fairbairn erachtete es erstens für nöthig, die relative Festigkeit cylindrischer Röhren auszumitteln, zweitens elliptischer und eiförmiger Röhren und endlich solcher von rectangulären Querschnitte, einschließlich derjenigen Modificationen, welche die Experimente in den auf einander folgenden Stadien der Untersuchung andeuten würden. Um einen deutlichen Begriff der Resultate zu geben wird es nöthig sein, den Apparat zu beschreiben, welcher gebraucht wurde, und zu zeigen in welcher Weise und unter welchen Umständen jene Resultate erhalten wurden. Die Röhre, mit welcher das Experiment angestellt werden sollte, wurde so hoch auf ein Paar feste Blöcke A A gelegt (siehe umstehende Fig. I.), daß Gewichte frei an derselben aufgehängt werden konnten. Bei den cylindrischen und elliptischen Röhren wurden die Gewichte mittelst eines unten durch die Mitte eingeschobenen Loches angehängt. Die Stange B (Fig. I. und II.) wurde durch einen Keil und eine Platte festgehalten, welche auf einer, 8 Zoll im Quadrat großen Unterlage von hartem Holze, auf der untern Seite im Innern der Röhre ruhten.

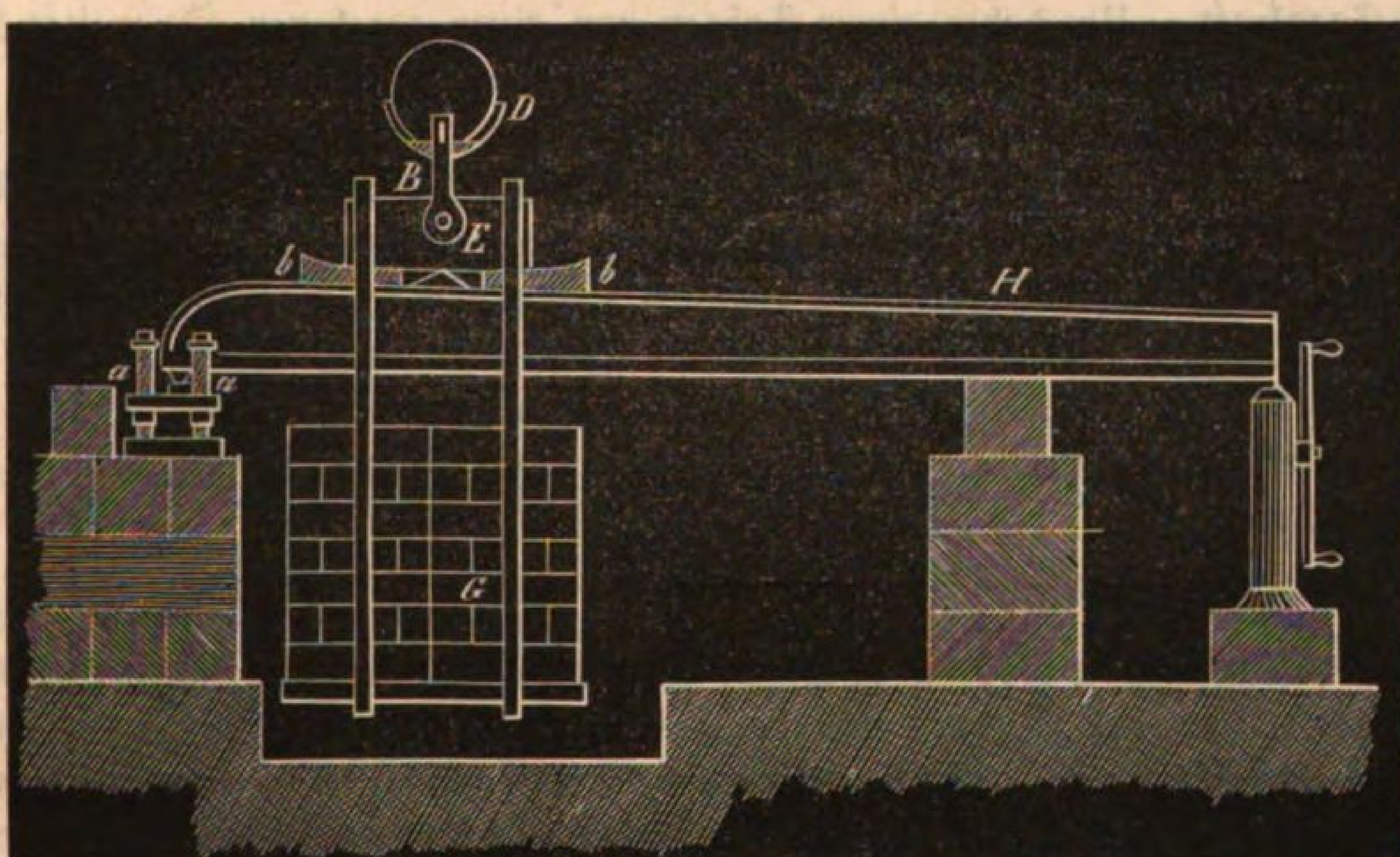
*) Tate, Tragkraft eiserner Balken ꝛc. Deutsch von M. v. Weber. I. Anhang.

Dem zum Durchstecken der eisernen Stange ausgeschnittenen Theile der Röhre war, wie die Linien bei D zeigen, durch eine rund um die Außenseite angenietete starke Platte größere Festigkeit gegeben worden. Nachdem die Eisenstange befestigt worden war, wurde die Querplatte E an derselben mittelst eines Bolzens angehängt,

I.



II.



welcher leicht in die rund gebogenen Enden der Stange B paßte. An der so befestigten gußeisernen Platte hingen große Gabeln F, auf deren horizontalen Theilen die Gewichte auf jeder Seite aufgelegt waren, wie bei G gezeigt ist.

Es ist zu erwähnen, daß bei dieser Anordnung die Röhren der Wirkung einer ruhigen Last ausgesetzt wurden, und auf diese Weise das Complicirte und Unsichere eines Systems von Hebeln vermieden wurde. Ein Hebel wurde jedoch

zum Emporheben der Gewichte von der Röhre für nöthig befunden, um den Mangel an Elasticität oder die bleibende Durchbiegung nach Entfernung der Last auszumitteln. Die Durchbiegung der Röhre wurde beim Auflegen der Gewichte sorgfältig gemessen und notirt, ebenso das Emporheben derselben, wenn die Last nachher gehoben wurde. Der große Hebel H mit der Winde am Ende desselben dienten zum Heben und Senken der Last, und zur Bestimmung der Veränderungen, welche durch das successive Auflegen und Wegnehmen der Gewichte vor sich gingen. Die hölzernen Keile b, b haben den Zweck, während des Emporhebens des Hebels mit den Gewichten, zur Ausmittelung der permanenten Durchbiegung die Last ruhig zu halten; wenn die Last an der Röhre hing, wurden sie weggenommen. Bei jedem Experimente wurde die Durchbiegung gemessen, nachdem die Gewichte aufgelegt worden waren, da jedoch einige der Röhren eine sehr bedeutende Durchbiegung erlitten, so wurde die Unterlage, auf welcher der große Hebel ruhte, von einer Eisenplatte getragen, welche um der Durchbiegung folgen zu können, mittelst der Schrauben a, a, a, gehoben und gesenkt werden konnte.

Jeder horizontale Träger, welcher einem transversalen Drucke ausgesetzt ist, hat zweierlei wichtige Verrichtungen, nämlich die Ausübung des Widerstandes gegen die Zusammendrückung an der oberen Seite, und gegen die Ausdehnung an der unteren Seite. Der Charakter der Festigkeit bleibt derselbe, der Träger mag hohl oder solid sein, und jeder gut construirte Träger muß eine solche Form haben, welche den größten Widerstaud gegen die Zusammendrückung einerseits und gegen das Zerreißen andererseits ausübt. Je weiter die einzelnen Theile, aus welchen der Träger zusammengesetzt ist, von der neutralen Axe abstehen, um desto größer ist die Tragkraft. Um daher einem Träger von einer gegebenen Quantität Material den festesten Querschnitt zu geben, müssen die Widerstände gegen die Zusammendrückung und das Zerreißen nicht blos ins Gleichgewicht gebracht, sondern das Material muß auch an der oberen und unteren Seite des Querschnitts, wo die Festigkeit am meisten in Anspruch genommen wird, angehäuft werden, während die Seiten nur die Verbindung zwischen beiden herstellen. Die cylindrische Form, welche eine so große Menge Material in der Nähe der neutralen Axe hat, ist daher als Widerstand gegen einen großen transversalen Druck nicht geeignet. Derselbe Einwand, obgleich in geringerem Grade, ist gegen elliptische Röhren zu machen.

Betrachtet man die Tabellen, so findet man, daß neun verschiedene Experimente mit cylindrischen Röhren angestellt wurden. Bei sieben derselben erfolgte ein Zerreißen an den Nieten, und bei zweien eine Zusammendrückung. Es ist mehr als wahrscheinlich, daß sämmtliche an der Oberfläche zusammengedrückt worden wären, wenn die Nietung dauerhafter gewesen wäre. Eine bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit bei diesen Experimenten war jedoch die Verdrehung der Röhren unter großem Drucke. Bei der Hälfte der brechenden Last wurden die Seiten eingebogen, und ehe drei Viertel derselben daran hing, bildete der Mittelquerschnitt eine Ellipse, deren große Axe in der Richtung der Kraft lag und mit der Last zunahm, bis der Bruch erfolgte.

Zusammenstellung der aus Experimenten mit cylindrischen Röhren erhaltenen Resultate.

Entfernung zwischen den Stützen		Durchmesser in Zollen	Blechstärke in Zollen	Größte Durchbiegung in Zollen	Brechendes Gewicht in Pfunden	Bemerkungen
Fuß	Zoll					
17	0	12,18	0,0408	0,39	3040	Zerdrückt an der Oberseite
17	0	12,00	0,0370	0,65	2704	Desgl.
15	7½	12,40	0,1310	1,29	11400	Zerrissen an der Unterseite.
23	5	18,26	0,0582	0,56	6400	Desgl.
23	5	17,86	0,0631	0,74	6400	Desgl.
23	5	18,18	0,1190	1,19	14240	Desgl.
31	3¼	24,00	0,0954	0,63	9760	Desgl.
31	3¼	24,30	0,1350	0,95	14240	Desgl.
31	3¼	24,20	0,0954	0,74	10880	Desgl.

Bei sämmtlichen Experimenten mit elliptischen Röhren zeigte sich geringe Festigkeit an der Oberseite, welche letztere beinahe in allen Fällen bedeutend verdreht wurde. Die regelwidrigen Resultate durch Zusammendrückung der Oberseite veranlaßten eine veränderte Form, indem eine hohle Zelle längs der Oberseite der Röhre angenietet wurde, jedoch ohne Erfolg. Es fanden auch bei elliptischen Röhren, ehe das brechende Gewicht aufgelegt wurde, bedeutende Verdrehungen statt.

Zusammenstellung der aus den Experimenten mit elliptischen Röhren erhaltenen Resultate.

Entfernung zwischen den Stützen		Senkrechter u. horizontaler Durchmesser	Blechstärke in Zollen	Größte Durchbiegung in Zollen	Brechendes Gewicht in Pfunden	Bemerkungen
Fuß	Zoll					
17	0	14,62 9,52	0,0416	0,62	2100	Zerdrückt an der Oberseite.
24	0	21,66 13,50	1,1320	1,36	17076	Zerrissen an der Oberseite.
24	0	21,25 14,12	0,0688	0,45	7270	Zerdrückt an der Oberseite.
18	6	12,00 7,50	0,0775	0,95	6867	Zerdrückt an der Oberseite. Diese Röhre hatte oben eine Zelle.
17	6	15,00 9,75	0,1430	1,39	15000	Oben zerdrückt und unten zerrissen.

Die angestellten Experimente lehren, daß ziemlich sämmtliche Röhren verhältnißmäßig schwach waren, was größtentheils in der mangelhaften Form, und theilweise in der Schwächung der Bleche durch ein unzweckmäßiges von den Arbeitern eingeführtes Nietsystem seinen Grund hatte. Diese Mängel wurden in den nächstfolgenden Experimenten mit rectangulären Röhren vermieden. Die folgenden

Experimente, nicht nur für sich höchst interessant, sondern auch praktische Betrachtungen von hoher Wichtigkeit für das künftige Interesse der civilisirten Menschheit in sich schießend, zeigen, daß die rectanguläre Form für hohle schmiedeeiserne Träger viel mehr relative Festigkeit besitzt, als irgend eine andere Form, vorausgesetzt, daß der Querschnitt so angeordnet und vertheilt ist, daß die größte Festigkeit mit der geringsten Menge von Material erzielt wird.

Gesammtresultate aus den Experimenten mit rectangulären Röhren.

Lichte Weite zwischen den Unterlagen		Höhe der Röhre	Breite der Röhre	Blechstärke in Zollen: Decke	Blechstärke in Zollen: Boden	Größte Durchbiegung	Brechende Last in Pfunden	Bemerkungen
Fuß	Zoll	Zoll	Zoll	Zoll	Zoll	Zoll	Pfund	
17	6	9,6	9,6	0,075	0,272	1,10	3783	Bruch durch Zusammendrükkung.
17	6	9,6	9,6	0,272	0,075	1,13	8293	(Umgedreht) durch Ausdehnung.
17	6	9,6	9,6	0,075	0,142	0,94	3788	Zusammendrückung.
17	6	9,6	9,6	0,142	0,075	1,88	7148	(Umgedreht). Ausdehnung.
17	6	18,25	9,25	0,059	0,149	0,93	6812	Zusammendrückung.
17	6	18,25	9,25	0,149	0,059	1,73	12188	(Umgedreht). Zusammendrükkung.
24	0	15,00	2,25	0,160	0,160	2,66	17600	Zusammendrückung.
18	0	13,25	7,50	0,142	0,142	1,71	13680	Zusammendrückung.
18	6	13,00	8,00	0,066	0,066	1,19	8812	Zusammendrückung. Zelle an der Decke.
11	0	8,00	1,00	0,282	0,116	0,75	11254	Zusammendruckung Zelle an der Decke.
19	0	15,40	7,75	0,230	0,180	1,59	22467	Seiten verdreht, Decke gedrückt.

Das nächste und Schlußexperiment ist von gigantischer Art, nämlich mit der großen Conway-Röhre selbst. Es wurden temporäre Pfeiler, entsprechend einer Spannung von 400 Fuß, unter jedes Ende gebaut, und die Durchbiegungen bei verschiedenen zunehmenden Belastungen in der gewöhnlichen Weise gemessen.

Die rectanguläre Röhre hatte 412 Fuß Länge, 25 Fuß 6 Zoll Höhe in der Mitte, 15 Fuß Breite und 400 Fuß lichte Weite zwischen Stützen. Der Querschnitt der Decke war 670 Quadratzoll, der des Bodens 517 Quadratzoll; das berechnete Gewicht der Röhre, einschließlich Schienen und gußeiserne Rahmen an den Enden war 1300 Tons (à 20 Centner). Die nächste Tabelle giebt die Durchbiegung in Zollen bei verschiedenen aufgelegten Gewichten an.

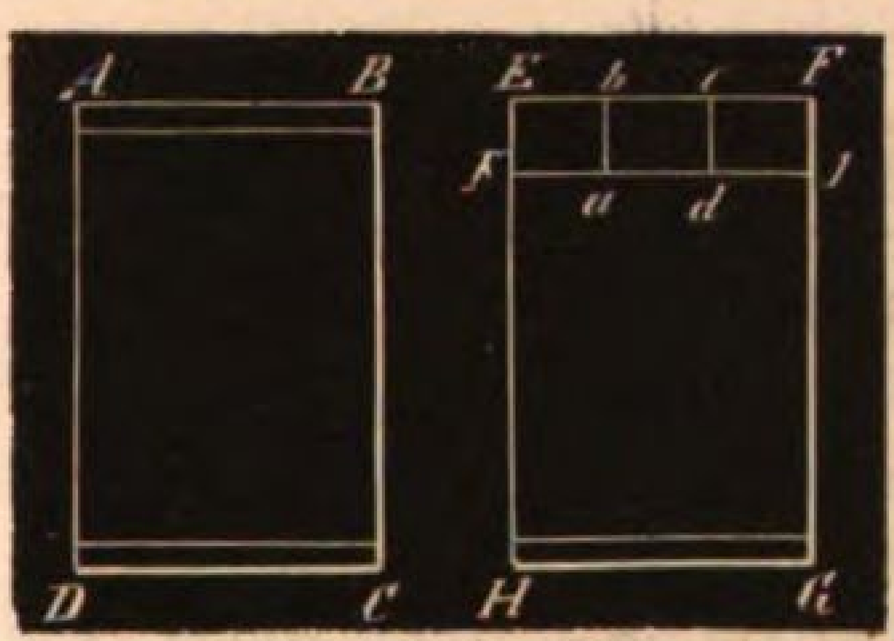
Durchbiegung in Zollen	7,9	9,02	9,50	10,50	10,95
Gewicht in Tonnen	0	95	154	201	301

Das Gewicht der Röhre von 1300 Tonnen verursachte eine Durchbiegung von ziemlich acht Zollen. So gab auch das Experiment im Maßstabe der natür-

lichen Größe, das natürlich für die beste Methode gehalten werden muß, vollkommen genügende Resultate.

Nun noch einiges von den Gründen, warum die Zellenconstruction solche Stärke zeigt. Es seien A C in beistehender Fig. I. und E G Fig. II. zwei Querschnitte von Trägern, deren relative Festigkeit in Anspruch genommen werden soll. Diese Querschnitte seien in allen Beziehungen einander ähnlich, bis auf den Umstand, daß bei dem einen das Material der Decke A B aus Platten besteht, die unmittelbar auf einander ruhen, während bei dem andern dieselbe Materialmasse zu Zellen gestaltet ist, indem die Horizontalplatten, durch Verticalplatten a b und c d mit einander verbunden sind. Wenn dünne Platten von Schmiedeeisen einem Drucke unterworfen werden, der in der Ebene ihrer Fläche auf sie wirkt, so schrumpfen oder knittern sie zusammen, und zwar lange ehe ihr Material durch den Druck wirklich zerstört wird. Bei dem Träger, der den ersten der eben angeführten Querschnitte hat, ist nichts geschehen diesem Bestreben der Deckplatte, zu schrumpfen oder zu knittern, zu begegnen; ein Anderes ist es bei Trägern die den zweiten Querschnitt haben. Hier besitzen sowohl die verticalen Platten der Zellen, als die Deckplatten das Bestreben zu knittern. Die Richtungen dieses Bestrebens gehen aber rechtwinklig auf einander, d. h. die verticalen Platten a b und c d suchen eine Wellenlinie zu bilden, deren Erhöhungen und Vertiefungen horizontal liegen, während die horizontalen Deckplatten ihre Wellen vertical zu treiben bestrebt sind. Die Richtung der größten Festigkeit der Verticalplatten ist vertical und fällt daher mit der Richtung der größten Schwäche der Horizontalplatten zusammen, und so umgekehrt und es werden aus diesem Grunde die Verticalplatten durch die Horizontalplatten, wie diese wieder durch die ersteren am Schrumpfen verhindert. Es leuchtet dabei ein, daß die Verticalplatten nicht knittern könnten ohne einen gewissen Druck auf die Horizontalplatten und umgekehrt auszuüben. Aus all diesem geht hervor, daß der Zweck der Zellenconstruction ist: dem Bestreben zu knittern, welches dünne Platten unter einem Drucke in ihrer Ebene zeigen, zu begegnen, und auf diese Weise die Röhrenträger denselben Gesetzen zu unterwerfen, denen gewöhnliche solide Träger unterliegen. Es liegt dabei auf der Hand, daß es nicht nöthig ist, dem Bodentheile der Träger eine Zellenconstruction zu geben.

I. II.



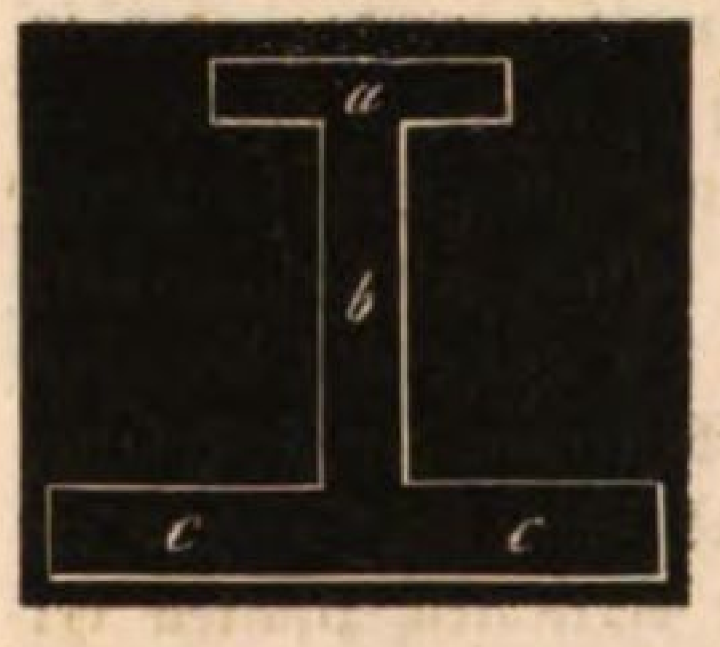
Bei Gelegenheit der Erbauung der Conway-Röhrenbrücke wurden übrigens noch andere interessante und für die technische Welt höchst wichtige Experimente angestellt, nämlich über die Festigkeit von Nietungen*). Es wurde doppelte, dreifache und vierfache Nietung versucht, aber wegen der durch die Nietlöcher hervorgebrachten Schärfung der Bleche wieder verlassen, bis nach wiederholten Versuchen das Princip der Längen- oder Kettennietung angenommen wurde; bezüglich der Resultate der Experimente muß auf die eben citirte Stelle verwiesen werden.

---

*) Thomas Tate, die Festigkeit eiserner Balken rc. Deutsch von M. v. Weber. II. Anhang.

In der Eisengießerei zu Leamington ist eine Reihe von Versuchen über die relative Festigkeit gußeiserner Brückenträger *) angestellt worden, welche namentlich zum Zwecke hatten, den zweckmäßigsten Querschnitt solcher Träger für den Fall ausfindig zu machen, daß die Last oberhalb derselben angebracht ist, ferner zu bestimmen, ob es zweckmäßiger sei nicht nur die obere Fläche der Träger, sondern auch die untere derselben aufwärts zu krümmen und endlich die zweckmäßigste Form der Träger auszumitteln, wenn die Last auf einem Querholze ruht, welches auf die unteren Flangen zweier gußeiserner Träger aufgelegt ist.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß die haltbarste und zugleich ökonomischste Form des Querschnittes die ist, wo der Flächeninhalt des Querschnitts der oberen Flange a in beistehender Figur gleich ist einem Fünftel der Querschnittsfläche der unteren Flange c c plus einem Zehntel Querschnittsfläche der Mittelrippe b. Die obere und untere Flange sollten von gleicher Dicke sein. Die Mittelrippe kann etwas schwächer gemacht werden, doch nicht viel, weil außerdem beim Kühlen des Eisens leicht Risse entstehen. Die relative Festigkeit des Trägers wird durch folgenden Ausdruck gegeben. Sie ist gleich dem Quotienten der tragenden Länge in das Product der Höhe des Trägers mit der Summe der Querschnittsfläche der unteren Flange und der halben Querschnittsfläche der Mittelrippe, Alles mit der constanten Zahl 25 multiplicirt. Dies giebt das brechende Gewicht in der Mitte in Tonnen. Dies Resultat ist doppelt zu nehmen wenn die Last gleichmäßig über die ganze Länge vertheilt ist. Die Höhe des Trägers an den Enden kann zwei Drittheile von der in der Mitte sein, da die richtigste Form eine Ellipse ist. So viel von diesen neueren in England angestellten Versuchen.



III. Rückwirkende Festigkeit. Wenn ein prismatischer oder cylindrischer Körper, der auf einer festen Unterlage steht, von oben (in der Richtung seiner Axe) gedrückt wird, so erleidet er, bei hinreichender Größe der einwirkenden Kraft, eine Volumsänderung, er wird kürzer und dicker. Sind die Körper hinlänglich kurz, so findet keine Biegung statt, und der Widerstand gegen das Zerdrücken tritt am reinsten hervor. Die Aufhebung des Zusammenhanges der Theile kann aber, je nach der Natur der Materie, woraus der Körper besteht, auf verschiedene Weise erfolgen. Der Körper kann zerquetscht, zermalmt, zerspalten oder zersplittert werden. Der Widerstand gegen das Zerdrücken ist nun um so bedeutender, je größer der Querschnitt, und zwar, bei gleicher Größe desselben, je kleiner sein Umfang ist. Nachstehend ist die rückwirkende Festigkeit verschiedener Körper hinsichtlich des Zerdrückens angegeben **).

*) Thomas Tate, die Festigkeit rc. Deutsch von M. v. Weber. Anhang III.

**) Schubarth, Sammlung physikalischer Tabellen. Berlin 1849.

Name der Körper	Auf den preuß. Quadratzoll in preuß. Pfunden	
Sandstein, Rothenburger	2631	
Ziegelstein, gut gebrannt	1124	
Gneiß	5116	
Versuche von Kersten mit Roheisen.		
Aus dem Hohofen von Gleiwitz bei Coaks erblasen, offen auf dem Heerde gegossen	146505	Sämmtliche Würfel aus der Barre gefeilt.
In senkrechter Richtung gegossen	150965	(…)
Im Cupolofen umgeschmolzen, offen auf dem Heerde gegossen	144603	(…)
In senkrechter Richtung gegossen	142757	(…)
Im Flammenofen umgeschmolzen, offen auf dem Heerde gegossen	172347	(…)
In senkrechter Richtung gegossen	180616	(…)
Aus dem Hohofen von Gleiwitz bei Coaks erblasen, in Würfelform gegossen	219492	
Im Cupolofen umgeschmolzen, in Würfelform gegossen	181757	
Im Flammenofen umgeschmolzen, in Würfelform gegossen	262675	
Aus dem Hohofen von Königshütte bei Coaks erblasen, offen auf dem Heerde gegossen und geschliffen	200758	
Versuche von Rennie.		
A. Holzarten.	Auf den engl. Quadratzoll engl. Pfund	
Ulmenholz	1284	
Kiefernholz, amerikanisches	1606	
Weißtannenholz	1928	
Eichenholz, englisches	3860	
„ „	5147	
B. Steine.		
Marmor, weißer italienischer	9681	
„ schwarzer brabanter	9219	
Bildhauermarmor	3216	
„ weißer	6059	
Kalkstein, fester	7731	
Kreide	501	
Sandstein von Portland	805; 3730; 4571	
„ „ sehr harten Quadersandstein	9446	
„ „ rother zerreiblicher	3142; 4345	
Pflastersteine von Yorkshire	5714	

Name der Körper	Auf den engl. Quadratzoll engl. Pfund
Granit, feinkörniger von Peterhead	8283
" von Cornwales	6356
Mauerziegel, blaßroth	562
" roth	808
Feuerfester Ziegel, Stourbridge	1717
C. Metalle.	
Gußeisen (im Mittel) specifisches Gewicht 6,977 . .	115813
" " " " " 7,003 . .	124272
" horizontal gegossen . . . . 7,113 . .	161824
" vertikal " . . . . 7,074 . .	177776
" horizontal "	129008
" vertikal "	130771
Kupfer, gegossen	117088
" gehämmert	103040
Messing, feines	164861
Zinn, gegossen	15456
Blei "	7728

Kennt man einmal die rückwirkende Festigkeit eines Körpers vom Querschnitt Eins, so ergiebt sich dieselbe auch für irgend einen anderen Querschnitt, wenn man diesen mit jener multiplicirt. Bei der Bestimmung der Tragkraft pflegt man aber von den den Widerstand gegen das Zerdrücken angebenden Zahlen bei Holz und Steinen den zehnten, bei Eisen etwa den fünften oder sechsten, und bei Mauern aus Bruchsteinen nur den zwanzigsten Theil zu nehmen.

Waltet die Dimension der Länge gegen die übrigen Dimensionen des Körpers vor, so findet ähnlich, wie bei der relativen Festigkeit, eine Biegung statt. Der Körper zerknickt dann. Als Maß der rückwirkenden Festigkeit gilt hier (s. Linie, elastische) das größte Gewicht $P = \frac{k \pi^2}{l^2}$, das der Körper ohne sich zu biegen tragen kann. Der Factor k ist aber zufolge der bei Betrachtung der relativen Festigkeit aufgestellten Formel für das Biegungsmoment bei einem Parallelepiped $= \frac{b h^3}{12} . \varepsilon$, wenn b die Breite, h die Dicke oder kleinste Dimension des rechtwinkeligen Querschnitts und ε den Elasticitätsmodul bezeichnet, und bei einem Cylinder vom Halbmesser r : $= \frac{\pi}{4} r^4 . \varepsilon$. Folglich hat man in diesen beiden Fällen für die rückwirkende Festigkeit $P = \frac{\pi^2}{12} . \frac{b h^3}{l^2} . \varepsilon$ und $P = \frac{\pi^3}{4} . \frac{r^4}{l^2} . \varepsilon$.

Die rückwirkende Festigkeit eines Parallelepipeds steht demnach mit der Breite und dem Cubus der Dicke im directen, und mit dem Quadrate der Länge im

umgekehrten Verhältniß, während dieselbe bei einem Cylinder dem Biquadrate des Halbmessers proportional ist.

Von der Torsionsfestigkeit handelt, mit Rücksicht auf eigenthümliche, dabei in Betracht kommende physikalische Verhältnisse, der Art. Torsion. (We.)

Fette. Die Fette sind Erzeugnisse des Thier- und Pflanzenlebens. Man bezeichnet damit Körper, welche im Allgemeinen als Verbindungen bestimmter organischer Säuren, der Fettsäuren, mit Lipyloxyd betrachtet werden. Das Lipyloxyd und sein Radikal Lipyl ($C_3 H_2$) hat bis jetzt nicht isolirt dargestellt werden können, weil es sich bei der Trennung von den Säuren sofort mit Wasser verbindet und in Glycerin verwandelt. Das Cetyloxyd ist die Basis, welches mit einer fetten Säure verbunden das Wallrath bildet.

Man theilt sie ihrer Consistenz nach ein in flüssige Fette, oder fette Oele, in schmierige Fette oder Butterarten, vorzugsweise Fette genannt, und in feste, trockne Fette, oder Talgarten, Wachsarten.

Die festen Fette sind gewöhnlich weiß, undurchsichtig oder durchscheinend, die flüssigen bilden gelbliche mehr oder weniger flüssige Oele. Sie fühlen sich schlüpfrig an, sind im reinen Zustande geruch- und geschmacklos, lösen sich nicht in Wasser, wenig in kaltem Alkohol, ziemlich leicht in kochendem Alkohol, in Aether und ätherischen Oelen; ihr spec. Gewicht ist geringer als das des Wassers, zwischen 0,91 — 0,94 bei 15° C., weshalb sie auf demselben schwimmen; Papier und Leinen machen sie durchscheinend (Fettflecke), indem sie sich zwischen die feinen Fasern ziehen; sie leiten Elektricität und Wärme schlecht und schmelzen meist schon unter 100°. Kein Fett enthält Stickstoff, dagegen enthalten sie alle viel Kohlenstoff, 70 — 80 Proc., Wasserstoff und etwas Sauerstoff. Sie besitzen alle einen hohen Siedepunkt, ungefähr 300°, zersetzen sich aber beim Sieden. Der trocknen Destillation unterworfen liefern sie theils brenzliche Stoffe und verkohlen, theils werden sie auch in die entsprechenden Fettsäuren verwandelt. Unter den brenzlichen Produkten finden sich gasförmige und flüssige Kohlenwasserstoffe, in geringer Menge auch Akroleïn, eine flüssige, Augen und Nase stark reizende Substanz, welche aus dem Lipyloxyd entsteht. Werden die Fette schnell erhitzt oder auf glühende Körper gebracht, so geben sie ölbildendes Gas, worauf sich ihre Anwendung zur Gasbeleuchtung gründet. Durch concentrirte Mineralsäuren werden sie zersetzt meist in Fettsäuren und andere Produkte. Mit kaustischen Alkalien behandelt liefern sie die fettsauren Alkalien, Seifen und Glycerin (S. d. Art. Seife); ähnliche Wirkung haben andere Salzbasen: Kalk, Bleioxyd rc. — Chlor, Brom und Jod wirken heftig auf die Fette ein und zersetzen sie. Im reinen Zustande sind die Fette ohne Reaction auf Pflanzenfarben, sie verändern sich aber an der Luft allmälig durch Absorption von Sauerstoff, bilden Fettsäuren und erlangen dann die Eigenschaft Lakmus zu röthen.

Alle Fette sind Gemenge von flüssigen und festen Fetten, die aber in verschiedenen Verhältnissen gemengt sind. Den flüssigen Antheil nennt Chevreul Elain oder Oleïn, weil er den Hauptbestandtheil der Oele bildet, den festen Antheil aber Stearin, weil derselbe vorzugsweise in den Talgarten enthalten ist. Viele Fette enthalten eine dritte Substanz, Margarin (z. B. Baumöl). Durch starke Abkühlung im Winter wird der feste Bestandtheil größtentheils vom flüssigen getrennt, indem ersterer erstarrt, letzterer dagegen flüssig bleibt.

Die Zahl der Fette des Thier- und Pflanzenreichs ist sehr groß, da fast jedes Genus sein besonderes Fett hat, das sich in Geschmack, Geruch, Consistenz ꝛc. von dem anderer Genera unterscheidet. Der Hauptunterschied besteht jedoch nur in dem quantitativen Verhältniß des festen und flüssigen Antheils; Geschmack und Geruch ꝛc. hängen von sehr kleinen Mengen beigemischter anderer Substanzen ab; zum Theil enthalten aber diese Fette auch eigenthümliche Fettsäuren.

Die fetten Oele des Pflanzenreichs sind meist in den Samen der Pflanzen enthalten, vorzüglich in den Samenlappen; besonders reich an Fett sind die Samen der Cruciferen (Raps, Kohl, Senf), Urticeen (Hanf), Papaveraceen (Mohn), Juglandeen (Wallnüsse) ꝛc.; bisweilen ist es auch in dem die Samen umgebenden Fleische, wie bei den Oliven, in großer Menge enthalten, selten in Wurzeln. Es findet sich in kleinen Zellen eingelagert und wird aus dem zerriebenen Samen durch Pressen gewonnen. Ist es bei gewöhnlicher Temperatur nicht flüssig, wie Cacaobutter, Cocosnußöl, so werden die Samen in erwärmtem Zustande gepreßt.

Wie schon angegeben lassen sich die fetten Oele in ein festes und flüssiges Fett zerlegen durch Erkälten, so wie durch Kochen mit der Hälfte Aetznatron, als zur Verseifung nothwendig ist, wobei der ölartige Antheil zurückbleibt.

Beim Erwärmen lösen sie viele Stoffe, theilweise unter Zersetzung auf: Schwefel, Phosphor, arsenige Säure, Selen, Kochsalz, Morphium, Strychnin ꝛc.; sie lösen sich selbst um so leichter in heißem Alkohol, je mehr sie Sauerstoff enthalten. Einige Oele trocknen, in dünnen Schichten der Luft ausgesetzt, zu einer zähen, durchscheinenden Masse ein; dieselbe Veränderung erleiden sie in noch kürzerer Zeit durch vorheriges Kochen mit etwas Blei- oder Zinkoxyd (siehe Firniß). Man heißt diese Oele eintrocknende Oele. Andere Fette werden an der Luft dickflüssiger, bleiben aber schmierig, werden sauer und ranzig. (Die Säure läßt sich durch Kochen mit Talkerdehydrat und Wasser wieder entfernen). Beim Eintrocknen und Ranzigwerden absorbiren die Fette viel Sauerstoff, erhitzen sich hierbei oft sehr stark, so daß sie in Berührung mit porösen, brennbaren Stoffen sich entzünden können; dabei entwickeln sie Kohlensäure und etwas Wasserstoff.

Das feste Fett im Oele ist meist Margarin, das in sehr verschiedener Menge in den verschiedenen Oelen existirt; der Erstarrungspunkt der Oele hängt von der größern oder geringern Menge des Margarins ab. Als Verunreinigungen enthalten die käuflichen fetten Oele meist Eiweiß, Schleim, Farbstoffe ꝛc.

Die gewöhnlichen eintrocknenden Oele sind: Leinöl, Wallnußöl, Hanföl, Mohnöl, Ricinusöl, Crotonöl, Tabaköl. Die wichtigsten nicht eintrocknenden sind: Mandelöl, Olivenöl, Rüböl. Butterartige Fette des Pflanzenreichs sind: Cacaobutter, Palmöl, Muskatbutter ꝛc.; diese gehören zu den nicht trocknenden.

Die thierischen Fette finden sich am häufigsten im Zellgewebe der verschiedenen Organe des Thierkörpers, in welchem sie als kleine, dem Stärkemehl ähnlichen Körnchen enthalten sind, doch enthalten auch fast alle thierischen Flüssigkeiten etwas Fett; in besondern Theilen des Körpers finden sich eigenthümliche Fette, ebenso sind manche Fette nur gewissen Thieren eigenthümlich. Man gewinnt das thierische Fett durch Ausschmelzen.

Die einzelnen Fettarten in jedem Fette lassen sich theilweise durch Behandlung mit Alkohol trennen, welcher den flüssigen Theil, das Oleïn, löst, während Margarin und Stearin ungelöst bleiben.

Flüssige, also sehr oleïnreiche, thierische Fette sind: Eieröl (im Dotter der Hühnereier), Klauenfett, (durch Ausschmelzen der Färsefnochen von Rindern erhalten), Fischthran (von Seehunden, Robben, Wallfischen gewonnen), Leberthran; letzteren gewinnt man durch Ausschmelzen der Leber des Dorsches (Gadus callarias), des Sey oder Seij (Gadus carbonarius) und des Haifisches (Gadus Pollachius); der französische Leberthran stammt von Raja cavata und batis.

Feste thierische Fette sind: Butter, Rindstalg, Hammeltalg, Schweineschmalz, Menschenfett (letztere beiden sollen nur Margarin und Oleïn enthalten) und viele andere.

Die am meisten verbreiteten Fettarten sind also Oleïn, ölsaures Lipyloxyd, welches bei der Verseifung Oelsäure und Glycerin liefert; Margarin, margarinsaures Lipyloxyd (in großer Menge im Menschenfett, Hammeltalg, Palmöl), giebt bei der Verseifung Margarinsäure und Glycerin; Stearin, stearinsaures Lipyloxyd, giebt bei Verseifung Stearinsäure und Glycerin. Margarin schmilzt bei 48°, Stearin bei 62°. Die Butter ist ein Gemenge von Oleïn und Margarin mit Butyrin, oder buttersaurem Lipyloxyd, dem Fett, welches bis jetzt allein künstlich erzeugt werden konnte aus Buttersäure und Glycerin mittelst Schwefelsäure.

Die Stearinsäure und Margarinsäure, welche man durch Zersetzung der entsprechenden Seifen mittelst Salzsäure 2c. und Umkrystallisiren der erhaltenen Masse aus Alkohol rein in schönen glänzenden Blättern erhält, haben folgende Zusammensetzung:

Margarinsäure $C_{34}\ H_{34}\ O_4$

Stearinsäure $C_{68}\ H_{68}\ O_7$.

Die Oelsäure ist zusammengesetzt $C_{36}\ H_{34}\ O_4$.

Unter dem Namen der Fettsäuren begreift man noch eine Anzahl von Säuren, welche im reinen Zustande theils flüssig und flüchtig sind, flüchtige Fettsäuren, die entweder in natürlichen Fetten fertig gebildet vorkommen, oder durch Oxydation derselben erst erzeugt werden, oder feste und nichtflüchtige Säuren, die sich in verschiedenen festen Fetten vorfinden.

Zu den ersteren rechnet man die, welche ihrer Zusammensetzung nach durch die allgemeine Formel $C_n\ H_n\ O_4$ ausgedrückt werden und wozu unter andern die Ameisensäure ($C_2\ H_2\ O_4$), Essigsäure ($C_4\ H_4\ O_4$), Buttersäure ($C_8\ H_8\ O_4$), Baldriansäure (($C_{10}\ H_{10}\ O_4$) 2c. gehören. H. Rt.

Feuer nannte man ehemals und nennt es noch jetzt in der gemeinen Redeweise eines der vier Elemente (Feuer, Wasser, Luft und Erde), welche die Bestandtheile aller Dinge ausmachen sollten (s. Art. Einfache Körper Bd. II. S. 596). Es ist aber längst bekannt und wissenschaftlich bewiesen, daß das Feuer kein eigenthümlicher Stoff, sondern nur eine bei energisch erfolgenden chemischen Processen vorvorkommende Entwickelung von Wärme und Licht ist.

Unter der chemischen Processen, welche von einer Feuererscheinung begleitet sind, ist besonders der Verbrennungsproceß hervorzuheben, d. h. die Vereinigung eines Körpers mit Sauerstoff; jedoch ist nicht unbeachtet zu lassen, daß nicht jede

Verbrennung unter den Erscheinungen erfolgt, welche man im gemeinen Leben als charakteristisch betrachtet, also daß nicht jede Verbrennung vom Feuer begleitet ist. Man unterscheidet vielmehr eine rasche, leuchtende und eine langsame, dunkle Verbrennung. Andererseits sind aber auch chemische Processe mit Feuererscheinung verbunden, bei welchen keine Vereinigung eines Körpers mit Sauerstoff stattfindet, wie z. B. eine solche eintritt, wenn Antimon in trocknes Chlorgas, oder Kupfer in heißen Schwefeldampf gebracht wird. Sogar bei chemischen Zersetzungen kommen Feuererscheinungen vor, z. B. beim Chlorstickstoffe, welcher durch eine Erwärmung bis gegen 96° C. unter Licht- und Wärmeentwickelung mit einem heftigen Knalle in seine beiden Elemente sich zersetzt.

In dem Folgenden werden wir das Feuer nur in sofern ins Auge fassen, als dasselbe bei dem Verbrennungsprocesse auftritt, und zwar nur in den beiden Beziehungen, wodurch das Feuer befördert und wodurch dasselbe unterdrückt oder gelöscht wird. In Rücksicht auf den Verbrennungsproceß selbst verweisen wir auf den Artikel: Verbrennung, in Rücksicht auf das Brennen mit Flammen auf den Artikel Flamme, und über die Mittel Feuer anzumachen auf den Artikel Feuerzeug.

A. Zur lebhaften Unterhaltung des Feuers ist eine hinreichende Menge des mit dem brennbaren Körper sich verbindenden Sauerstoffes nöthig; denn ist dieser nur sehr verdünnt vorhanden, so wird trotz der Erhitzung keine lebhafte Verbrennung entstehen können. Nach Humphry Davy *) läßt sich eine aus 2 Raumtheilen Wasserstoffgas und 1 Raumtheil Sauerstoffgas bestehendes Gemenge bei achtzehnfacher Verdünnung, ein Gemenge aus 2 Raumtheilen Wasserstoffgas und 5 Raumtheilen atmosphärischer Luft schon bei sechsfacher Verdünnung nicht mehr durch den elektrischen Funken entzünden. Eine Stahlfeder läßt sich in atmosphärischer Luft durch einen glühenden Schwamm nicht entzünden, brennt aber in reinem Sauerstoffgase unter hellem Funkensprühen.

Die Menge des zur Verbrennung nöthigen Sauerstoffes ist nicht bei allen Körpern dieselbe. So brennt Phosphor noch in der Luft, die so wenig Sauerstoffgas enthält, daß Wasserstoffgas und Schwefel nicht mehr entzündet werden können. Wasserstoff verlischt bei 8facher, Schwefel brennt noch fort bei 15facher und Phosphor bei 60facher Verdünnung der Luft, ja Phosphorwasserstoff blitzt noch in möglichst verdünnter Luft.

Findet ein Verbrennen im Freien statt, so wird durch das Emporsteigen der erwärmten und dadurch leichter gewordenen Luft von allen Seiten her ein Zuströmen neuer Luft veranlaßt, und hierdurch dem Feuer immer neuer Sauerstoff zugeführt. Es zeigt sich dies in dem bei einer Feuersbrunst stets eintretendem Winde, wenn auch die Atmosphäre ruhig war. Jemehr das Zuströmen der neuen Luft befördert wird, desto energischer wird das Verbrennen vor sich gehen; man hat daher sich bemüht, auf künstliche Weise diesen Strom zu verstärken, zumal wo der natürliche Strom nicht ausreichend ist, um eine zweckmäßige Verbrennung zu unterhalten, oder wo durch Beschränkung der Räumlichkeiten der natürliche Strom nicht zur gehörigen Vollkommenheit gelangen kann. Die Hauptmittel sind die

---

*) Schweigger's Journ. Bd. XLVIII. S. 52 ff. u. Gilbert's Ann. Bd. LVI. S. 150.

Gebläse und die Schornsteine. Wegen der ersteren, zu denen z. B. der gewöhnliche Küchenblasebalg gehört, verweisen wir auf die Art. Gebläse und Löthrohr, und bemerken hier nur, daß der erzeugte Luftstrom der Größe des brennenden Körpers angemessen sein muß, damit nicht durch zu große Schnelligkeit die Luft bei dem brennenden Körper vorbeigeführt wird, ehe sie die nöthige Wärme erlangt hat. Hierdurch würde gerade das Gegentheil von dem herbeigeführt, was man erreichen will, nämlich eine Abkühlung, und die Folge könnte das gänzliche Verlöschen des Feuers sein, wie sich dies bei dem Ausblasen einer Kerze bestätigt, während man andererseits einen noch glimmenden Wachsstock durch ein gleiches Verfahren wieder zum Brennen bringen kann.

Schornsteine oder Essen sind empor steigende Canäle, in denen die durch den Verbrennungsproceß erwärmte, mithin leichter gewordene Luft fortgeführt wird. Je größer der Unterschied in der Temperatur und Dichtigkeit der im Schornsteine aufsteigenden gegen die der umgebenden äußeren Luft ist, desto kräftiger muß das Nachströmen der kälteren, neuen Sauerstoff zuführenden Luft erfolgen.

Theoretisch ist die Geschwindigkeit, mit welcher ein Gas von der Dichtigkeit d bei dem Barometerstande b und der Temperatur 0° C. aus einem Gefäße in den leeren Räumen ausströmt, wenn D die Dichtigkeit des Quecksilbers bedeutet, =

$$\sqrt{\frac{4\,b\,D\,g}{d}},$$

wo g der Fallraum in der ersten Secunde, im Mittel 15,625 Fuß bedeutet.

Hieraus folgt, daß in einen Schornstein die äußere Luft mit einer Geschwindigkeit einströmt, mit welcher ein Körper fällt, nachdem er einen Weg zurückgelegt hat, welcher so viel beträgt, als die Länge der durch die erhöhte Temperatur ausgedehnten Luftsäule in dem Schornsteine, wenn sie auf die Temperatur der äußeren Luft reducirt wird, verschieden von der Länge des Schornsteins ist, oder — was dasselbe — verschieden von der Länge einer Luftsäule von der Temperatur der äußeren Luft, welche den Schornstein füllen würde.

Ist h die Höhe des durchweg gleichweiten Schonsteins, t der Temperaturunterschied der inneren und äußeren Luft, so erhält man, da 0,365 der Ausdehnungscoefficient der Luft für 100° ist,

$$c = \sqrt{4\,g\,.\,\frac{0{,}00365\,.\,t\,.\,h}{1 + 0{,}00365\,.\,t}}$$

und wenn für die gegebene Geschwindigkeit des Luftstromes die Schornsteinhöhe gefunden werden soll:

$$h = \frac{(1 + 0{,}00365\,t)\,c^2}{4\,g\,.\,0{,}00365\,.\,t}.$$

Um ein Beispiel eines bedeutenden Schornsteines anzuführen, erwähnen wir, daß in Manchester ein solcher von 400′ Höhe sich befindet, welcher unten 25 und an der Spitze 9′ Durchmesser hat *). Weiteres im Art. Schornstein.

Aus dem Vorstehenden ersehen wir, daß die Geschwindigkeit der in einen Feuerraum einströmenden Luft desto größer sein muß, je höher der Schornstein

*) Emsmann, Physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. Otto Wigand. S. 69 u. 70.

ist; desto mehr Luft und mithin auch desto mehr Sauerstoff wird dem Brennmaterial innerhalb einer gegebenen Zeit zugeführt, und desto vollständiger wird daher das Verbrennen sein. Daraus erklärt es sich, daß in den oberen Stockwerken hoher Häuser häufiger Rauch in den Zimmern und Küchen sich zeigt, als in den unteren, weil diesen eine größere Schornsteinhöhe zukommt, als jenen, und daß man diesem Uebel (eine Folge eines unvollkommenen Verbrennens) durch Erhöhung des Schornsteines abhelfen kann. Die mit Cylindern versehenen Lampen geben einen Beleg im Kleinen. Durch den Cylinder wird der zur Flamme gehende Luftstrom vermehrt und das Verbrennen vervollkommt, so daß die Flamme hellleuchtend und das Rauchen beseitigt wird, welches bei nicht aufgesetztem Cylinder stattfindet. Daß der Luftstrom, welcher durch den Schornstein erzeugt wird, der Größe des brennenden Körpers angemessen sein müsse, versteht sich nach dem oben bei Erwähnung der Gebläse bereits Gesagten von selbst. Hier wollen wir nur ein dahin gehöriges Beispiel beibringen, nämlich daß sich die Flamme einer Lampe auffallend verkleinert, wenn man sie mit einem zu hohen, oder zu engen Cylinder umgiebt.

Eine zweite zur Unterhaltung eines Feuers nöthige Bedingung ist die, daß der brennende Körper nicht unter die Temperatur abgekühlt werde, welche zur Einleitung der Verbrennung erforderlich ist. Der Verbrennungsproceß tritt nämlich, wie fast jede chemische Verbindung, bei einem bestimmten Wärmegrade ein. Dieser Wärmegrad ist jedoch für verschiedene Körper verschieden. Phosphorwasserstoffgas entzündet sich schon bei — 38° C., Wasserstoffgas bei gewöhnlicher Lufttemperatur, wenn es auf Platinschwamm strömt, für die meisten Körper ist indessen zum Entbrennen ein Vorerwärmen, das sogenannte Anzünden, Anstecken nöthig, z. B. beim Phosphor bis $37^1/_2$° C., beim Schwefel bis 294° C., beim Wasserstoffgase bis zur Rothglühhitze ꝛc. Aus Leinwand gewonnener Zunder (verkohlte Leinwand) entzündet sich durch einen Stahlfunken beim Feueranschlagen mit Stahl und Steine; compakte Holzkohlen und Coaks verlangen viel kräftigere Mittel.

Die Temperatur des Vorerwärmens bleibt indessen selbst bei demselben Körper nicht unter allen Verhältnissen dieselbe; daß die erforderliche Menge Sauerstoff vorhanden sei, ist eine wesentliche Bedingung, wofür das bereits oben angeführte Beispiel von Knallluft bei 18facher Verdünnung zur Bestätigung dient.

Die Mittel zur nöthigen Vorerwärmung bieten die Feuerzeuge dar (s. Art. Feuerzeug).

B. Kommt es darauf an ein Feuer zu löschen, so müssen die zur Unterhaltung desselben wesentlichen Bedingungen beseitigt werden. Es ergiebt sich also aus dem Vorhergehenden von selbst, daß man bemüht sein muß, die Temperatur bis unter die zur Einleitung des Verbrennungsprocesses erforderliche, also bis unter die Entzündungstemperatur zu erniedrigen, und das Zuströmen des Sauerstoffs, also der atmosphärischen Luft unmöglich zu machen.

Eine brennende Kerze unter einer mit Wasser abgesperrten Glocke verlischt sehr bald aus Mangel an Sauerstoff; ein auf einem kalten guten Wärmeleiter stehendes Räucherkerzchen brennt nicht ganz aus, wie es der Fall ist, wenn dasselbe auf einen schlechten Wärmeleiter gestellt ist, weil ihm, sobald das Kerzchen mit seiner Gluht den guten Wärmeleiter berührt, zuviel Wärme entzogen wird. Eine einzelne brennende Kohle verlöscht von selbst, wenn sie an der Luft liegt, weil sie

durch das Ausstrahlen zu viel Wärme verliert; liegen aber mehrere brennende Kohlen auf einem Haufen, so wird die Wärme, welche jede einzelne entwickelt, namentlich die der unten liegenden besser zusammengehalten und der Verbrennungsproceß setzt sich fort. Ueber die abkühlende Wirkung von Eisendrahtgeweben vergl. Art. Flamme.

Soll ein Feuer in einem abgeschlossenen Raume gelöscht werden, so sperrt man ihn möglichst luftdicht ab, und sucht überhaupt den Zutritt der atmosphärischen Luft zu verhindern. Z. B. bei brennenden Schornsteinen verschließt man wo möglich die obere Mündung, zu welchem Zwecke Klappen angebracht werden könnten, oder man unterbricht den Luftstrom durch eiserne Schieber, welche aus Vorsicht angebracht sind, oder man füllt den Raum mit einem das Brennen nicht befördernden Stoffe, z. B. mit schwefligsaurem Gase, welches man durch Anzünden einer verhältnißmäßigen Quantität Schwefel entwickelt. — Hierher gehört auch das Mittel ein im Entstehen bemerktes Feuer dadurch zu unterdrücken, daß man die, an Umfang noch unbedeutende, brennende Stelle mit beliebigen Körpern bedeckt und so den Luftzutritt absperrt. Damen, deren Kleider Feuer gefangen haben, ist ein gleiches Verfahren anzurathen.

Das gebräuchlichste Feuerlöschungsmittel ist und bleibt das Wasser, dessen Wirksamkeit hauptsächlich auf der Abkühlung beruht, welche der brennende Körper erleidet durch die niedrigere Temperatur des Wassers, durch die große Wärmecapacität desselben und besonders durch die große Wärmemenge, welche bei der Bildung des Wasserdampfes latent wird. (Wasser von 0° bedarf zur Verwandlung in Dampf von 100° C. nicht weniger als 640° C. Wärme). Hierzu kommt noch, daß der erzeugte Wasserdampf, indem er den brennenden Körper umgiebt, der atmosphärischen Luft nicht den freien Zutritt gestattet.

Bei einem im Entstehen begriffenen Feuer ist oft ein einziger Eimer Wasser oder noch weniger ausreichend, um dasselbe zu löschen; bei einer vollständigen Feuersbrunst ist jedoch ein bedeutendes Wasserquantum erforderlich, weil in diesem Falle wenig Wasser mehr schaden, als helfen kann. Glühende kohlige Körper zerlegen nämlich das Wasser, wenn es in nicht ausreichender Menge zum Löschen gebraucht wird, also namentlich wenn dasselbe fein vertheilt ist; der durch die Zersetzung entstandene Sauerstoff befördert dann das Verbrennen, und der Wasserstoff als selbst brennender Stoff trägt noch mehr zur Vermehrung der Hitze bei. Die Schmiede pflegen daher in das Kohlenfeuer Wasser zu spitzen, nicht um es zu löschen, sondern um die Gluht noch mehr anzufachen. Wo Steinkohlen, welche wenig Wasserstoff enthalten, z. B. sogenannte Sinterkohlen und Sandkohlen, oder auch Coaks gebrannt werden, leitet man wohl Wasserdämpfe in die Feuerung, um durch die Zersetzung des Wassers eine große Flamme und größere Hitze zu gewinnen *).

Statt des Wassers hat man verschiedene Auflösungen vorgeschlagen von Salzen, Erden und Alkalien, z. B. Lauge aus Salzpfannen, Holzaschenlauge, schon gebrauchte Bleicherlauge, nach v. Aken **) 40 Pfund schwefelsaures Eisen und 30 Pfund Alaun mit 20 Pfund rothen Eisenoxyd (Colcothar) und 200 Pfund

*) Ueber die Feuerspritzen vergl. d. Art. Spritze.
**) Gilb. Ann. Bd. XXIII. S. 314.

Thon, nach Six *) Meersalz in Wasser gelöst; auch Lehm und Thon in Wasser zerrührt ist empfohlen worden. Letzteres Mittel wirkt nachtheilig auf die Spritzen, die anderen sind entweder zu kostspielig, oder nicht leicht in ausreichender Menge vorräthig; alle diese Mittel sind aber sehr wirksam, weil sie den brennenden Körper mit einer Kruste überziehen, welche den Luftzutritt verhindert.

Ueber die feuerlöschende Kraft des Häckerlings hat man sehr beachtenswerthe Resultate erhalten. So wurden z. B. 5 Bündel und 15 Scheite Holz angezündet und mit 4 Garben Stroh bedeckt, und als sich die Flamme zur größten Mächtigkeit entwickelt hatte, warf man von 2 Seiten 6 Metzen Häckerling ins Feuer, wodurch es augenblicklich gelöscht wurde. Ein anderes Mal wurden zwei Pyramiden, jede aus 12 Stück trocknen Reisbündeln bestehend, angezündet, und als das Feuer recht um sich gegriffen hatte, die eine Pyramide durch Häckerling, die andere mittelst einer Feuerspritze durch Wasser gelöscht. Dabei zeigte es sich, daß 12 Metzen Häckerling ebenso viel Löschkraft besitzen, wie 10 Eimer Wasser durch die Spritze zweckmäßig angewendet. Bei einer im Entstehen begriffenen Feuersbrunst möchte dies Mittel jedenfalls Beachtung verdienen.

Bei manchen brennenden Substanzen ist Wasser gar nicht anwendbar, um das Feuer zu löschen, z. B. beim Oele, weil das schwerere Wasser das Oel nicht bedeckt, also die Luft nicht abhält, und weil die große Hitze des brennenden Oeles das Wasser in Dämpfe von großer Spannung verwandelt, durch welche das Oel herumgeschleudert wird. Beschränkt sich das Feuer in diesem Falle auf ein einzelnes Gefäß, so verschließe man dasselbe und streue Asche oder Sand darauf; ist das Feuer in einem abschließbaren Raume, so suche man denselben zu verstopfen, um so den Luftzutritt zu verhindern. Wo man mit dergleichen brennbaren Stoffen zu operiren hat, sollte man stets eine feuerfeste Räumlichkeit dazu wählen und eine gehörige Menge Sand in Vorrath halten, z. B. bei der Bereitung der Firnisse. H. E.

Feuerberge, s. Vulkan.

Feuerkugel (lat. bolis, globus ardens, franz. bolide, globe de feu, engl. fire ball), sonst auch fliegender Drachen genannt, ist ein unabhängig von Tageszeiten, Jahreszeiten und Witterung erscheinendes leuchtendes Meteor, welches sich oft mit sehr bedeutender Geschwindigkeit fortbewegt, zu gleicher Zeit bei seiner Bewegung sich nach der Erde senkt, entweder unbemerkt verschwindet oder mit großem Krachen platzt und Steinmassen herabfallen läßt, welche man Meteorsteine, Meteorolithen, auch Mondsteine (lat. lapis de (oder ex) coelo delapsus, franz. pierre météorique, aërolithe, engl. meteorous stone) nennt. Bei Tage bemerkt man dergleichen Meteore nur, wenn sie sich durch ihre Größe auszeichnen, indem die kleineren durch das helle Sonnenlicht überstrahlt und ebenso wie die Sterne verdunkelt werden; des Nachts aber sind auch die kleineren sichtbar und werden dann Sternschnuppen, Sternputze, Sternschnäuze oder Sternschüsse (lat. stella cadens, franz. étoile tombante, engl. star-shoot, shooting or flying or falling star) genannt. Indessen fehlt es nicht an Beispielen, daß auch bei Tage dergleichen kleinere Meteore, also Sternschnuppen, beobachtet

---

*) Ann. de Chim. T. LIV. p. 138.

sind, wie denn Hansteen *) am 23. August 1823 um Mittag ein solches durch das Feld seines Fernrohres gehen sah; auch A. Erman **) hat hierher gehörige Beispiele gesammelt und führt dergleichen an von Februar 1206 und 1208, vom Mai 1706 und 23. bis 25. April 1545 ***). Da durch das Fernrohr alles Seitenlicht abgehalten wird, so kann man mit demselben wohl am ersten eine derartige Beobachtung machen, wie man ja auch auf gleiche Weise bei Tage Sterne sehen kann.

Feuerkugeln und Sternschnuppen sind, obgleich A. v. Humboldt ****) die Identität beider Arten von Feuermeteoren für noch nicht erwiesen erklärt, jedenfalls als verwandte und nicht mehr als durchaus verschiedene Phänomene aufzufassen, wie es früher geschah. Mit Recht unterscheiden daher Benzenberg und Brandes *****) dieselben auch nicht mehr, sondern stellen nur folgende drei Arten auf: 1) Sternschnuppen erster und zweiter Größe, bei denen man eine leuchtende Kugel unterscheidet, die gewöhnlich von der Lichtbahn getrennt ist und auch früher als diese erlischt, also eigentliche Feuerkugeln. 2) Sternschnuppen erster und zweiter Größe, aber ohne Kugel mit einer leuchtenden Bahn, welche nach den Verschwinden des bewegten Punktes, vom äußersten Ende anfangend, bald erlischt. 3) Kleinere Sternschnuppen von dritter bis sechster und noch geringerer Größe.

Das mit diesem Meteore häufig verbundene Herabfallen von Meteorsteinen hat demselben eine besondere Bedeutung gegeben; die verschiedenen Ansichten über den Ursprung dieser Massen steigerten das Interesse noch mehr, und daher ist gerade viel geschehen, um diese Erscheinung aufzuklären. Wegen der Reichhaltigkeit der Literatur stellen wir die wichtigsten Schriften in einer besonderen Anmerkung zusammen, und die bereits citirten drei Schriften mit Nr. 1 — 3 bezeichnend werden wir im Verlaufe dieses Artikels nur die betreffende Nummer in der hier gegebenen Zusammenstellung citiren †).

---

*) Phil. Mag. T. LXV. p. 394 aus Magazin for Naturwiderskaberne 1823. p. 314.

**) Poggend. Ann. Bd. XLVIII. S. 582.

***) Vergl. außerdem Poggend. Ann. Bd. VI. S. 165 u. Bd. IX. S. 525. Bd. LXVI. S. 471. Arago in Ann. de Chim et Phys. T. XXX. p. 416; Bode astron. Jahrb. 1816. S. 148.

****) Kosmos. Bd. III. S 609.

*****) 1. Versuch die Entfernung, die Geschwindigkeit und die Bahn der Sternschnuppen zu bestimmen. Hamburg 1800. — 2. Benzenberg über die Bestimmung der geogr. Länge durch Sternschnuppen. Hamburg 1802. — 3. Brandes, Unterhaltungen für Freunde der Physik und Astronomie. Heft I. Leipzig 1825.

†) 4. King Remarks concerning stores said to have fallen from the clouds. London 1796. — 5. v. Ende über Massen und Steine, die aus dem Monde auf die Erde gefallen sind. Braunschweig 1804, vergl. Gilb. Ann. Bd. XVIII. S. 298. — 6. Izarn lithologie atmosphérique. Paris 1803. — 7. v. Dalberg über Meteor-Cultus der Alten, vorzüglich in Bezug auf Steine, die vom Himmel gefallen sind. Heidelberg 1811. — 8. Bigot de Morogues, Mémoire historique et physique sur les chutes des pierres tombées à la surface de la terre à différentes époques. Orleans 1812. — 9. Chladni über den Ursprung der von Pallas entdeckten Eisenmasse und einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen. Leipzig 1794. — 10 a. Chladni über Feuer-Meteore und die mit denselben herabgefallenen Massen. Wien 1819. Als Nachtrag gehört zu diesem, für diesen Gegenstand wichtigsten Werke: — 10 b. v. Schreibers Beiträge zur Geschichte und Kenntniß meteorischer Steine, und Metallmassen und der Erscheinungen, welche deren Niederfallen zu begleiten pflegen. Wien 1820. — 11. Jul. Ideler über den Ursprung der Feuerkugeln und

Das Meteor kann man des Nachts schärfer auffassen, als bei Tage, und da zeigt sich Folgendes: An einer Stelle des heiteren Himmelsgewölbes taucht ein Lichtpunkt in Gestalt eines größeren oder geringeren Sternes auf, bewegt sich über einen Theil des Himmels fort und verschwindet dann wieder eben so plötzlich, oder das Licht nimmt am Orte des Verschwindens allmälig an Helligkeit ab. Zuweilen hinterläßt diese sich fortbewegende Masse auf ihrer Bahn keine Spur von Licht, zu anderen Zeiten bleibt kurze Zeit hindurch noch ein Lichtstreifen daselbst übrig; der scheinbare Stern bleibt entweder ein einziger oder er sprüht scheinbar Funken. Werden diese Erscheinungen größer, so sind es die eigentlichen Feuerkugeln. Es erscheint dann ein leuchtender Punkt, ungefähr wie eine Sternschnuppe, oder ein kleines, lichtes, bald nachher sich entzündendes Wölkchen, oder ein, bisweilen auch mehrere parallele lichte Streifen, woraus sich nachher ein weiter fortgehender leuchtender Körper zusammenballt. Dieser Körper bewegt sich mit großer Geschwindigkeit, die gewöhnlich anfangs der des Laufes der Weltkörper gleich kommt, bisweilen in Bogensprüngen, weiter fort und zwar so, daß davon eben so wohl die Wirkung einer tangentiellen Bewegung, als die Wirkung der Schwere unverkennbar ist; er vergrößert sich und bildet sich zu einer feurigen Kugel aus, welche Flammen, Rauch und Funken auswirft. Diese Feuerkugel zieht gewöhnlich einen Schweif nach sich, der zunächst an der Kugel aus Flammen, die sich hinterwärts zuspitzen, und weiter nach hinten aus dem nachgelassenen Rauche und Dampfe besteht und bisweilen auch in die Länge gezogene Theile der Substanz selbst enthält: auch ist sie bisweilen von abgesonderten Theilen, die sich zu kleinen Feuerkugeln ausbilden, begleitet. Endlich zerspringt die Feuerkugel mit vielem Getöse und heftiger Erschütterung der Luft; bisweilen zerspringen auch wohl Theile derselben noch einmal, und es fallen sodann die Bestandtheile, welche nicht vorher als Rauch und Dampf verflüchtigt worden sind, als Steine oder Eisenmassen, **Meteorsteine**, nieder. Bei Tage wird man gewöhnlich erst durch das beim Zerplatzen entstandene Getöse darauf aufmerksam, wenn die Lichterscheinung schon vorüber ist. Man sieht in solchen Fällen nichts anderes, als ein mehr oder weniger lichtes oder dunkeles Wölkchen. So beschreibt **Chladni** (10. a S. 17 — 19) und nach ihm **Kämtz** (16. S. 220) die Erscheinung.

Um über dies Phänomen Aufschluß zu erhalten, sind zunächst über den Ort, an welchem dasselbe auftritt, also über die **Höhe** desselben, die erforderlichen Untersuchungen anzustellen. Es läßt sich diese Höhe aus den Winkeln gegen den Horizont berechnen, in denen dasselbe von zwei an verschiedenen, hinlänglich entfernten Beobachtern gesehen wird; man hat also die sogenannte **Parallaxe** (vergl. d. Artikel) zu bestimmen. Es sind jedoch im vorliegenden Falle noch einige

---

des Nordlichts. Berlin 1832. — 12. **Diruf**, Ideen zur Naturerklärung der Meteor- oder Luftsteine. Göttingen 1805. — 13. **Freigang**, Gedanken über die Luftsteine. Göttingen 1804. — 14. **Schnabel**, de globis igneis. Bonn 1832. — 15. **Benzenberg**, die Sternschnuppen sind Steine aus den Mondvulkanen ꝛc. Bonn 1834. — 16. **Kämtz**, Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1836. Bd. III. S. 219 — 326. — 17. **Heis**, die periodischen Sternschnuppen und die Resultate der Erscheinungen, abgeleitet aus den während der letzten 10 Jahre zu Aachen angestellten Beobachtungen. 1849. — 18. **Coulvier-Gravier** u. **Saigny**, Recherches sur les Etoiles filantes 1847. — 19. **A. v. Humboldt**. Kosmos. Bd. I. S. 120 — 142. Bd. III. S. 592 — 624.

specielle Vorschriften zu beachten, und deshalb kann die bloße Hinweisung auf den Art. Parallaxe hier nicht genügen. Brandes, der sich nicht geringe Verdienste um diese Höhenbestimmungen erworben hat, theilte Kämtz (16. S. 221) handschriftlich eine besondere Instruction mit, und da diese als Muster dienen kann, so folgen wir derselben auch hier.

Man bestimmt den scheinbaren Ort des Phänomens am besten nach den Sternen, bei welchen sie vorbeiziehen. Haben sich die beiden Beobachter über die Himmelsgegend geeinigt, auf welche sie vorzugsweise ihre Aufmerksamkeit richten wollen, so thut — selbst der mit den Sternbildern schon gut bekannte — Beobachter wohl, diejenigen Sternbilder, die in der erwähnten Himmelsgegend zur Zeit der eigentlichen Beobachtung stehen, oft genau durchzugehen, denn je schneller man die einzelnen Theile der Sternbilder sogleich erkennt, desto mehr erleichtert man sich nachher die Arbeit und ist eher im Stande, einen höheren Grad von Genauigkeit zu erreichen. Zu den Beobachtungen muß man sich mit Sternkarten und und einer Uhr versehen. Ein Gehilfe muß beide stets vor sich haben. Man nimmt nun seine Stellung liegend oder sitzend so, daß man den zur Beobachtung gewählten Theil des Himmels bis zum Zenith übersehe und sucht so gefaßt auf jede Erscheinung zu sein, daß man sogleich das Auge dahin wende, wo sie sich zeigt. Bei dem Erscheinen eines Meteores giebt man sogleich dem Gehilfen ein Zeichen, daß er die Zeit notire. Man bemüht sich, die Bahn des Meteores genau im Auge zu behalten, dadurch, daß man die nächsten Sterne, über oder neben welchen sie liegt, mit der Bahn in feste Beziehung setzt. Hat man es erreicht, daß man die Bahn zwischen den nächsten Sternen festgelegt hat, so sieht man sich mit stetem Zurückkommen auf jene Sterne um, wo jene Bahn einzutragen ist, und zeichnet sie mit Bleistift auf die entsprechende Sterncharte, wobei man nicht vergessen darf, die Zahl beizusetzen, wodurch sie im Journal bezeichnet wird.

Was die Zeitbestimmung betrifft, so wird man mit Viertelminuten völlig zufrieden sein können, da nicht leicht in kurzer Zeit zwei Sternschnuppen erscheinen, welche verwechselt werden können. Es ist gut in das Journal soviel zur Beschreibung, als irgend möglich ist, eintragen zu lassen, da Uebereinstimmung in den Erscheinungen die correspondirenden Sternschnuppen oft am besten kenntlich macht. Das Eintragen der Rectascension und der Declination der Anfangs- und Endpunkte der Bahnen aus den Sterncharten muß dann am folgenden Tage geschehen.

Hat man eine größere Zahl von Beobachtungen, so muß man selbst bei denen, welche der Zeit nach ungefähr correspondirend sind, noch vor der Berechnung eine Prüfung anstellen, um sich zu überzeugen, daß die Beobachtung wirklich eine und dieselbe Erscheinung zum Grunde gehabt hat. Brandes (3. I. S. 13) wendet hier folgendes Verfahren an. Hat man für zwei Beobachtungsorte zwei wirklich auf denselben Punkt gerichtete Gesichtslinien, so liegen diese mit der zwischen beiden Orten gezogenen Linie in einer Ebene, oder die beiden Punkte am Himmel, wo beide Beobachter die Sternschnuppen sehen, liegen in einem durch die Sternlinie gelegten größten Kreise. Man bemerke daher auf dem Horizonte einer künstlichen Himmelskugel die Richtung, in welcher beide Orte gegen einander liegen, stelle den Punkt in den Meridian, welcher zur Zeit der Beobachtung im Meridian stand, und bemerke auf der Himmelskugel die beiden Punkte, in denen von den beiden Beobachtern das Verschwinden einer Sternschnuppe gesehen wurde. Diese beiden Punkte müssen mit jenen beiden Punkten des Horizontes in einem größten

Kreise der Himmelskugel liegen, und wenn man einen in den beiden Punkten des Horizontes fest gehaltenen Faden durch den scheinbaren Ort der Sternschnuppe gehend an die Kugel anlegt, so muß er auch durch den anderen scheinbaren Ort gehen; bleibt dieser zweite scheinbare Ort erheblich von dem Faden entfernt, so correspondiren die Beobachtungen nicht. Hat man auf diese Weise sich überzeugt, daß man correspondirende Beobachtungen vorliegen hat, so kommt es auf die nähere Berechnung an. Wegen dieser verweisen wir nochmals auf den Art. Parallaxe, bemerken jedoch hier noch, daß Brandes (2. S. 38) und Olbers (2. S. 123) dazu Formeln angegeben haben. Wegen der Herleitung der Formeln von Brandes verweisen wir auf 3. I. S. 15 und 16. III. S. 224. Ueber die Höhenbestimmung ist auch noch Bessel zu vergleichen *).

Aus den Höhenberechnungen ergiebt sich, daß die Entfernung der Sternschnuppen von der Oberfläche zwischen einer und 50 Meilen schwankt, ja bei einigen derselben scheint dieselbe die Größe von 100 Meilen übersteigen zu haben (3. I. S. 15). Die erste Beobachtungsreihe von Brandes ergab $3^1/_2$ bis 30 Meilen, und bei einer zweiten Beobachtungsreihe bemerkt man 4 Sternschnuppen von 1 bis 3 Meilen, 15 von 3 bis 6 Meilen, 22 von 6 bis 10 Meilen, 35 von 10 bis 15 Meilen, 13 von 15 bis 20 Meilen, 11 über 20 Meilen und zwar 3 von etwa 30, eine von 45,7, eine von etwa 60 und eine von mehr als 100 Meilen Höhe. Olbers hielt alle Höhen über 30 Meilen für wenig sicher bestimmt. — Wichtig erscheint auch in dieser Beziehung, was der Astronom Faye **) bemerkt. Dieser hat mehrmals Feuerkugeln durch ein Fernrohr beobachtet und dabei Folgendes erkannt: 1) der Schweif schien ihm gerade und unbewegt zu sein; 2) er nimmt wenig an Glanz ab, verschiebt sich und zergeht wie eine Rauchsäule, die in ruhiger Luft zu ihrer größten Höhe gelangt ist; 3) er ist anfangs gerade, dann geschlängelt, zertheilt sich in Flocken und verschwindet an der Stelle, nachdem er ganze Minuten gedauert hat. — Hiernach müßte man folgern, daß jede Feuerkugel, die einen verweilenden Lichtschweif hinterläßt, sich in der Atmosphäre bewegt; denn die Unbeweglichkeit des Schweifes weist auf ein widerstehendes Mittel hin. Wo sich größere Höhen ergeben haben, findet Faye den Grund in den der Rechnung zum Grunde gelegten Hypothesen oder in der Art, wie beobachteten Thatsachen ausgelegt wurden.

Bei 36 wurden die Bahnen berechnet: von ihnen gingen 26 mit mehr oder weniger Abweichung in der Verticalebene herab, 9 aufwärts und zwar betrug der Neigungswinkel gegen den Horizont 16°, 68°, 45°, 39°, 10′, 6°, 6°, 39° und 14°, eine war horizontal. Die meisten Bahnen gingen in südwestlicher Richtung, hatten folglich eine der Bewegung der Erde entgegengesetzte Richtung.

Die Geschwindigkeit der Sternschnuppen war zwischen 4 bis 9 geogr. Meilen in der Secunde, mithin beinahe noch einmal so groß als die Geschwindigkeit der Erde im Weltraume; doch hat man in einzelnen Fällen selbst zwischen $11^1/_2$ und $23^3/_4$ Meilen gefunden, andererseits auch nur $3^1/_2$.

In Hinsicht auf die Farbe der Sternschnuppen ist aus 4000 in 9 Jahren gesammelten Beobachtungen geschlossen worden, daß $^2/_3$ weiß, $^1/_7$ gelb, $^1/_{17}$ gelbroth und nur $^1/_{37}$ grün sind (19. III. S. 606).

---

*) Schumacher's Astron. Nachr. Bd. XVI. Nr. 380. S. 327.
**) Compt. rend. T. XXXII. p. 667. Poggend. Ann. Bd. LXXXIII. S. 467.

Auf die Größe der Sternschnuppen ließe sich bei bekannter Entfernung ein Schluß ziehen aus dem scheinbaren Durchmesser; leider läßt sich dieser nicht mit Genauigkeit angeben, besonders wegen der Vergänglichkeit der Erscheinung und weil wir leuchtenden Gegenständen fast immer einen zu großen Durchmesser beilegen. Brandes (3. I. S. 42) hat eine Größenbestimmung versucht und bei einer Sternschnuppe einen Durchmesser von 120 Fuß gefunden; der Schweif bildete einen 3 bis 4 Meilen langen Cylinder von diesem Durchmesser. Die glänzenderen Sternschnuppen hat man in Höhen von mehr als 5 Meilen gefunden, in geringerer Höhe war der Glanz schwächer; folglich scheinen in den niedrigeren Regionen der Atmosphäre nur kleinere Sternschnuppen vorzukommen. Die Sternschnuppen desselben Abends haben eine sehr verschiedene Höhe, so daß zwischen ihnen keine Uebereinstimmung herrscht, und dann, wenn schnell hinter einander Sternschnuppen erscheinen, sind sie ziemlich in derselben Gegend. Wie es scheint, sind sie im Allgemeinen an keine Jahreszeit, keine Witterung rc. gebunden, wie auch schon Eingangs dieses Artikels angeführt wurde. Indessen hat man doch in neuester Zeit in dieser Hinsicht eine höchst merkwürdige Entdeckung gemacht. Man hat nämlich gefunden, daß die merkwürdigsten Sternschnuppenerscheinungen, wo dieselben in großer, zum Theil unzählbarer Menge auftreten, in mehreren Jahren um die Mitte (um den 12.) November stattfanden. Diese Erscheinungen sind folgende:

1799, 11. bis 12. November beobachtet von A. v. Humboldt *) zu Cumana, von den mährischen Brüdern in Grönland, von mehreren Personen in Deutschland. — 1822, 12. bis 13. November beobachtet von Klöden **) zu Potsdam. — 1831, 12. bis 13. Nov. beobachtet von Berard ***) an der spanischen Küste bei Cartagena del Levante. — 1832, 12. bis 13. Nov. beobachtet im ganzen mittleren und nördlichen Europa, selbst mitten in Rußland in Kursk ****). — 1833, 12. bis 13. Nov. beobachtet in Nordamerika, besonders in den Vereinigten Staaten *****). — 1834, 13. bis 14. Nov. ebendaselbst und in Mähren beobachtet †). — 1835, 13. Nov. beobachtet im Depart. Ain von d'Aubenton, wo durch eine Feuerkugel eine Scheune entzündet wurde ††). — 1836, 12. bis 14. Nov., zu Berlin, Breslau, Frankfnrt a. M., Gummersbach, Braunsberg, in Frankreich †††). — 1838, 13. bis 14. Nov. beobachtet zu Bremen ††††). — Ueber die fernere Beobachtung dieser November-Sternschnuppen vergl. 17, am zahlreichsten waren die Sternschnuppen in den Jahren 1799, 1818, 1822, 1823, 1831—1839 alle Jahre, 1841 und 1846, ganz besonders aber in den Jahren: 1799, 1832 und 1833.

---

*) Voyage T. IV. p. 35. u. Relat. hist. T. I. p. 519—527.

**) Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 219.

***) Annuaire 1836. p. 297.

****) Stöggerath in Schweigger's Jahrb. Bd. LXVI. S. 328. Bd. LXVII. S. 262; Gautier in Biblioth. univ. T. LI. p. 189 und Poggend. Ann. Bd. XXIX. S. 447.

*****) Olmsted in Silliman American Journ. T. XXV. u. Poggend. Ann. Bd. XXXI. S. 159. Bd. XXXIII. S. 189. Bd. XXXIV. S. 114.

†) Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 129.

††) Annuaire 1836. p. 296.

†††) Poggend. Ann. Bd. XXXIX. S. 354. Bd. XL. S. 484.

††††) Schumacher's Astron. Nachr. Nr. 372.

Die Bedeutung des Novembers tritt entschieden hervor, wenn man sieht, wie viele Feuermeteore gerade am 13. dieses Monats oder kurz vorher und nachher beobachtet worden sind. Die Zahl derselben ist gar nicht gering. Kämtz giebt (16. S. 264 — 303) ein chronologisches Verzeichniß der Feuerkugeln und Meteorsteine bis zum Jahre 1835 nach Chladni und v. Hoff*), auch hat er geschöpft aus: Plieninger, Meteor. Tagebuch im Correspondenzblatte des Landwirthsch. Vereins in Würtemberg. Folgende Beobachtungen werden als Bestätigung dienen:

1684, Nov. 13., große Feuerkugel mit langem Schweife zwischen Joachimsthal und Gottesgabe. — 1761, Nov. 12, 4^h 45′, große, mit heftigem Knalle zerspringende Feuerkugel, die bei Dijon ein Haus anzündete. — 1791, Nov. 12., morg. 6^h 39′, spindelförmige Lichterscheinung von Lichtenberg in Göttingen gesehen. — 1799, Nov. 12., Morg. 6^h (also zur Zeit des von v. Humboldt in Cumana beobachteten Sternschnuppenfalles) Feuerkugel in England, die mit zischendem Geräusche ging und endlich zerplatzte. — 1803, Nov. 13., Abends $8^1/_2{}^h$. Sehr ausgezeichnete Feuerkugel in England. — 1813, Nov. 10., Abends 6^h 40′ in England, in Sunderland ein zugleich rauchendes und leuchtendes Meteor. — Am 8. Nov. dess. Jahres Feuerkugel zwischen Woodfort und Harkney in England. Am Abende viele Sternschnuppen. — 1818, Nov. 13., helle Feuerkugel zu Gosport in England. — 1819, Nov. 13., Abends 7 Uhr. Sehr ungewöhnliche Feuerkugel in Port au Prince auf Haiti; am 14. eine Feuerkugel in Böhmen und am 18. zu Tottenham in England; endlich am 19. (oder 21.) eine explodirende Feuerkugel nebst vielen Sternschnuppen in Nordamerika. — 1820, Nov. 12., Nachm. 4 Uhr Feuerkugel mit Gewitter in Rußland, Gouvernement Kursk. — 1822, Nov. 11., Abends zwischen 10 und 11^h Feuerkugel zu Freiberg und Zschopau; Nov. 12., mehrere Feuerkugeln in Potsdam und Taucha bei Leipzig; am Abend viele Sternschnuppen; am 15. Feuerkugel in Apenrade. — 1824, Nov. 13. bis 14., Feuerkugel in Mainz; am 16. in Bonn. — 1825, Nov. 14., Abends 8 Uhr., Feuermeteor mit Explosion in Schottland. — 1831, Nov. 13., Morgens 6 Uhr merkwürdiges Meteor in der Gegend von Brunek in Tyrol. — 1832, 1833, Nov. 12., Deutschland, 1834 und 1835, Nov. 13., in N. Amerika. — 1835, Nov. 13., Dep. de Ain. — 1837, Nov. 12. und 1838, Nov. 13. in Frankreich &c.

Aufmerksam gemacht durch diese November-Periode hat man den Sternschnuppen eine noch größere Aufmerksamkeit gewidmet und dadurch auch eine August-Periode entdeckt. Der 10. August, das Fest des heiligen Laurentius, ist traditionel der Tag der „heiligen Thränen" und wird z. B. in einem Manuscripte im Christ Church College zu Cambridge unter dem Titel Ephemerides rerum naturalium durch das Wort meteorodes bezeichnet. (Vergl. 19. I. S. 403). Thomas Forster**) wurde hierdurch veranlaßt, das August-

---

*) Vergl. 10 a; Chladni's erster Nachtrag in Gilb. Ann. Bd. LXVIII. S. 329. Zweiter Nachtrag, das. Bd. LXXI. S. 359. Dritter Nachtrag, das. Bd. LXXV. S. 229. Vierter Nachtrag in Poggend. Ann. Bd. II. S. 181. Fünfter Nachtrag, das. Bd. VI. S. 21 u. 161. Sechster Nachtr., das. Bd. VIII. S. 45. Siebenter Nachtr. Bd. XVIII. S. 174. Achter Nachtr. Bd. XXIV. S. 221. Neunter Nachtr. Bd. XXXIV. S. 339.

**) The pocket Encyclop. of Natural Phaenomena 1827. p. 17 und Quetelet,

Phänomen eifrigst zu verfolgen. Die Tage vom 9. bis 14. August zeichnen sich besonders aus *). Die periodische Wiederkehr haben Quetelet, Olbers und Benzenberg nachgewiesen.

Andere periodisch wiederkehrende Sternschnuppen-Ströme wird man gewiß noch entdecken; die Tage vom 22. bis 25. April, vom 6. bis 12. December, und vielleicht auch vom 27. bis 29. November und eben so der 17. Julius haben bereits die Aufmerksamkeit auf sich gezogen (vergl. 19. I. S. 404 u. III. S. 604). Capocci in Neapel glaubt auch an eine Periodicität der Meteorsteine **), desgleichen v. Baumhauer ***). Nach Heis (17. S. 7 u. 26—30) ist es eigenthümlich für die Sternschnuppen der November-Periode, daß die Bahnen mehr zerstreut sind, als die der August-Periode. In jeder der beiden Perioden sind die Ausgangspunkte gleichzeitig mehrfach gewesen; keineswegs immer von demselben Sternbilde ausgehend, wie man seit 1833 anzunehmen geneigt war. In der August-Periode ist nach Heis der Hauptausgangspunkt Algol im Perseus, daneben zeigen sich aber noch zwei andere: im Drachen und im Nordpole. Am Abend des 10. Aug. 1852 fand Heis in Münster die Sternbilder des großen und kleinen Bären und des Drachen im Norden, ferner die des Widders, der Andromeda und des Pegasus im Osten, und endlich die des Wassermannes und des Adlers im Süden als die Haupt-Tummelplätze. In der November-Periode ergeben sich vier Ausgangspunkte: Perseus, Löwe, Cassiopeja und Drachenkopf, unter denen Perseus und nach diesem der Löwe vorwalteten ****). Der Perseus scheint das ganze Jahr hindurch die meisten Sternschnuppen zu liefern.

Wir haben also die periodischen Sternschnuppenströme von den sporadischen Sternschnuppen zu unterscheiden. Worin das Periodische seinen Grund hat, ist noch nicht vollständig ausgemacht. Das Wahrscheinlichste ist, daß wir es hier mit aus Myriaden kleiner Weltkörper zusammengesetzten Strömen zu thun haben, welche unsere Erdbahn schneiden, wie es der Komet von Biela thut. Hiernach müßte man sich dieselben als einen geschlossenen Ring bildend und in demselben einerlei Bahn befolgend vorstellen. Da jedoch das Phänomen nicht in jedem Jahre in derselben Sternschnuppenfülle auftritt, so muß man annehmen, daß in diesem geschlossenen Ringe die Sternschnuppenkörper ungleich vertheilt sind, daß es nur wenige dicht gedrängte und Schwarm-erregende Gruppen darin giebt; ferner, daß eine Veränderung in der Lage der Ringe stattfinde, ein regelmäßiges Fortrücken oder ein durch Perturbationen verursachtes Schwanken der Knoten (der Durchschnittspunkte der Erdbahn und der Ringe); vielleicht ist die Gruppirung der Körper auch sehr ungleich und eben so ihr Abstand von einander,

---

Corresp. mathém. Sér. III. T. I. 1837. p. 433; vergl. auch: Quetelet, Catalogue des principales apparitions d'étoiles filantes. Bruxelles 1839 et 1841.

*) Vergl. Muschenbroek, Introd. ad Phil. Nat. 1762. T. II. p. 1061. Howard, Climate of London. Vol. II. p. 23. Quetelet a. a. O. S. 438—453. A. Erman, Boguslawski und Kreil in Schumacher's Jahrb. 1838. S. 317—330. Heis (17).

**) Mittheil. der paris. Acad. 24. Aug. 1840.

***) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 465.

****) Vergl. jedoch Olber's in Schumach. Astron. Nachr. Nr. 372.

so daß die Erde erst in mehreren Tagen den Ring durchschneideu kann. Olbers war geneigt eine Periode von 34 Jahren für das Maximum des November-Phänomens anzunehmen, und verkündet die Wiederkehr des großen Phänomens, bei welchen Sternschnuppen mit Feuerkugeln gemengt wie Schneeflocken fallen, erst für den 12. bis 14. November 1867. Die Jahre 1799 und 1833 sind Endpunkte dieser Periode. Aus den bisherigen Beobachtungen läßt sich über diese interessanten Punkte noch nichts entscheiden.

Ueber sporadische Sternschnuppen theilt A. v. Humboldt *) brieflich erhaltene Resultate von Julius Schmidt mit. Als Mittelzahl von vielen Jahren der Beobachtung treten in der Stunde 4 bis 5 Sternschnuppenfälle ein. Bei der periodischen Sternschnuppenfällen kann man in jeder Stunde über 13 oder 15 erwarten.

Die Periodicität der Sternschnuppen im August und November hat A. Erman **) zu der Hypothese Veranlassung gegeben, daß die kalten Tage des Februar und Mai ihrem Ursprung darin haben möchten, daß die Asteroiden (Sternschnuppenkörper) der August-Perioden sich im Februar und die der November-Periode im Mai eines jeden Jahres zwischen der Sonne und der Erde auf dem Radius, Vector der letzteren, befinden. Aus zahlreichen Beobachtungen von: Stockholm 50 Jahre, Karlsruhe 25, Königsberg 24, Paris 21, London 16, Zwanenburg 20, Wien 24, St. Gotthard 10 ergiebt sich

1) vom 7. bis 12. Februar eine ganz unerwartete Abnahme der Temperatur,
2) innerhalb der nächst vorhergehenden und nächst folgenden 5 Tage eine Schwächung des normalen Temperaturzuwachses, und endlich
3) zwischen den 17. und 22. Februar eine eben so auffallende Verstärkung des normalen Temperaturzuwachses.

Ebenso ergiebt sich aus Beobachtungen: Stockholm 50 Jahre, Karlsruhe 25, Königsberg 24, Paris 21, Frankfurt a. M. 10, London 16, St. Petersburg 9, Wien 24, Zwanenburg 20, daß

1) vom 8. bis 13. Mai ein normal geschwächter, und vom 13. bis 18. Mai ein normal verstärkter Temperaturzuwachs stattfindet,
2) die zuerst genannte Schwächung des fünftägigen Zuwachses ihren Grund hat in einer Abnahme der Temperatur während eines oder mehrerer eintägiger Intervalle.

Um den 7. Februar befindet sich die Erde in der Nähe von 138° heliocentrischer Länge und somit auf dem Radius-Vector des aufsteigenden Knotens der August-Asteroiden, desgleichen um den 12. Mai in ungefähr 231° heliocentrischer Länge, entsprechend den November-Asteroiden. Die Asteroiden erscheinen dann in Conjunction mit der Sonne. Da nun die Beobachtungen ergeben, daß um diese Zeiten der Erde ein Theil der erwärmenden Sonnenstrahlen entzogen wird, und zwar durch eine Ursache, welche man gezwungen ist in dem, nicht zur Erde gehörigen, Weltraume zu suchen, weil sie an den verschiedensten und von einander entferntesten Punkten unseres Planeten mit gleicher Deutlichkeit fühlbar wird; so

---

*) Kosmos. Bd. III. S. 602.
**) Poggend. Ann. Bd. XLVIII. S. 582.

nimmt Erman eben die Asteroiden bei ihrem Vorbeiziehen vor der Sonne als die Wärme entziehende Ursache an. — Mädler *) schreibt die kalten Tage im Mai, die er aus 86jährigen Beobachtungen zu Berlin als Thatsache nachwies, dem Schmelzen des Eises im Nordosten von Europa zu; aber hiervon kann wohl schwerlich eine so bestimmte an die Sonnenlänge gebundene und überdies so allgemeine Erscheinung abhängig gemacht werden. Erman's Ansicht zu prüfen, müßte man in den Temperaturen (zunächst des Mai) dieselbe Periode von 34 Jahren nachzuweisen suchen, die man an den November-Asteroiden gefunden zu haben glaubt, und umgekehrt müßte man aus diesen Temperaturen auf die im November eintretende Sternschnuppenmenge einen Schluß machen können.

Ehe wir die aus Sternschnuppen oder Feuerkugeln herabgefallenen Meteormassen speciell betrachten, möge eine Schilderung der großartigen Sternschnuppenerscheinungen hier eine Stelle einnehmen. Von dem Sternschnuppenphänomen des Jahres 1799 giebt A. v. Humboldt **) eine Beschreibung.

Am 12. November 1799 kurz vor Sonnenaufgange fiel eine wahrhaft unglaubliche Menge größerer und kleinerer Sternschnuppen, mit und ohne Schweif, anhaltend herab, und zugleich aus solchen Höhen, daß das Phänomen gleichzeitig zu Cumana durch Bonpland, zu Portobello, Guiana, Bahama, Nain in Labrador, Lichtenau in Grönland und zu Itterstädt bei Weimar gesehen wurde, was eine Höhe von mindestens 410 Meilen erfordert. Die Erzählung von dem, was an den beiden entferntesten Punkten gleichzeitig von vielen Personen gesehen wurde, stimmt so genau überein, daß an der Identität des Gesehenen gar nicht gezweifelt werden kann. Nach v. Humboldt folgten Tausende von Feuerkugeln und Sternschnuppen einander 4 Stunden lang; sie nahmen ihre Richtung von Nord nach Süd und füllten am Himmel einen Ort, welcher gerade von Osten aus sich an jeder Seite bis 30 Grade hin erstreckte. Sie stiegen ost-nordöstlich und östlich über den Horizont, beschrieben ungleich große Bogen und fielen im Süden herab; einige erreichten bis 40 Grad Höhe, alle über 25 bis 30. Sie ließen sämmtlich leuchtende Spuren von 5 bis 10 Grad Länge zurück, deren Licht 7 oder 8 Secunden dauerte; einige derselben schienen zu bersten, die größten jedoch verschwanden ohne Funkensprühen und manche hatten einen großen, dem Jupiter an Lichtglanz gleichen Kern, aus welchem Funken sprühten. Ihr Licht erschien weiß, was v. Humboldt zunächst für eine Folge des heiteren Himmels zu Cumana hält, wo damals kein Wölkchen die Atmosphäre trübte. Gleichzeitig sah man zu Nain und Hoffenthal zahllose Feuerkugeln, deren einige eine halbe Elle im Durchmesser zu haben schienen, nach allen vier Himmelsgegenden zur Erde herabfallen. Die Erscheinung wurde auch zu Neu-Herrenhut und Lichtenau in Grönland auf eine Entfernung bis zu 100 Meilen über die Davis-Straße hin gesehen und schreckte die Eskimos ***).

Ueber das Phänomen vom 1832 haben namentlich Nöggerath und Gautier (bereits oben citirt) zahlreiche Berichte gesammelt. Im Wesentlichen

---

*) Verhandl. des Vereins zur Beförderung des Gartenbaues 1834. S. 377.

**) Voyage aux Régions équinoxiales livre IV. c. 10, T. IV. p. 34—53 éd. in 8°, Reisen, deutsch. Uebers. Th. II. S. 278.

***) Gilb. Ann. Bd. XII. S. 217.

stimmen alle Nachrichten überein. Während der Nacht vom 12. auf den 13. Nov. zeigten sich, am Unterrhein von 9 Uhr Abends bis zum Anbruche des Tages, Hunderte von Sternschnuppen, untermischt mit vielen kleineren und größeren Feuerkugeln, welche sich in allen Richtungen bewegten, oft auch auf- und niederwärts, bogenförmig oder gegen einander flogen, lange feurige Schweife nach sich zogen, aus denen zuweilen Funken und Lichtbüschel seitwärts hervorschossen, dabei außerordentlich stark, oft mehrere Minuten lang, und unter Veränderung ihrer Gestalt, merklich mit Farbe leuchteten. Der Schauplatz dieses Phänomens ist sehr groß gewesen. Man hat es beobachtet in England (namentlich Portsmouth, Sheffield und Malvern, am letzteren Orte sah Maton innerhalb fünf Minuten 48 Meteore), in Frankreich (an mehreren Orten im Depart. Calvados und de l'Orne, zu Saint-Lonthain im Depart. du Jura, zu Grenoble), in der Schweiz (in und um Genf, zwischen Aubonne und Lausanne, im Unter-Simmenthal, Kanton Bern), in Süddeutschland (Frankfurt a. M., Stuttgart, Carlsruhe), in Belgien (Brüssel und Lüttich), in den Rheingegenden (Trier, Cöln, Düren und mehreren Orten des Regierungsbezirks Aachen, Düsseldorf — wo Custodis von 4 bis 7 Uhr Morgens 267 Sternschnuppen und darunter 40 bis 50 erster Größe sah — Schwelm, Lennep), in Westphalen (Salz-Uffeln, wo R. und W. Brandes dasselbe beobachteten) —, ferner in Berlin, Warschau, Riga, Petersburg, Odessa, zu Suczama in der Bukowina (wo nach Rohrer's Beobachtung die Sternschnuppen mitunter so zahlreich fielen, daß es einem förmlichen Feuerregen zu vergleichen war), sogar in Sudscha im Gouvernement Kursk (wo es vom Dmitrjukow beobachtet wurde *).

---

*) Poggend. Ann. Bd. XXIX. S. 449. — In der Nacht zum 13. Nov. 1822, um 5 Uhr nach Mitternacht, wurde ich von meinem Hausgenossen geweckt, um eine in hiesiger Gegend seltene Erscheinung zu betrachten. Der Himmel war heiter, gestirnt und mondhell, die Lufttemperatur — 7° R. In der Nähe des Horizontes zeigte sich, wie ein Gürtel, eine blaßweißliche Wolke, mit mehr oder minder hellen purpurrothen Stellen, ähnlich dem Dämmerungslichte oder dem Abglanze einer entfernten Feuersbrunst, es schien, wie wenn ringsum am Himmel die Sonne aufgehen wollte. An den höher gelegenen Theilen des Himmelsgewölbes auf dem blauen Grunde, zeigten sich bewegte Meteore, an Helligkeit den Sternen gleich, sie bewegten sich in verschiedenen Richtungen, wie Sternschnuppen oder herabfallende Raketen. Ihr Erscheinen war nicht so augenblicklich, wie das des Blitzes, sondern dauerte zwei bis drei Secunden, bisweilen aber auch mehrere Minuten. Bisweilen war die scheinbare Breite dieser Lichtmeteore gleich der (scheinbaren) Breite einer Hand und auch noch größer; die scheinbare Längenausdehnung senkrecht gerichteter Streifen betrug aber oft 90 Grad. Im Allgemeinen bemerkte man keine Beständigkeit in der Richtung; man sah dergleichen Meteore bald von Ost vertical gegen den südlichen oder nördlichen, bald vom südlichen zum östlichen oder westlichen Himmel sich bewegen. Einige begannen ihr Fallen vom Zenith aus und niedriger nach verschiedenen Seiten; nur sehr wenige bewegten sich in Verticalkreisen. Die Bahn der meisten bildete spitze Winkel mit dem Horizonte: parallel mit dem Horizonte erscheinende Bewegungen wurden nicht bemerkt. Bisweilen erschienen gleichzeitig Meteore, die von verschiedenen Punkten, doch keine, die von Einem Punkte ausgingen; bisweilen gab es auch mehrere Minuten lang keine dergleichen Phänomene. Die größeren derselben erleuchteten auf mehrere Minuten einen ansehnlichen Theil des Horizontes. Beim Auflösen eines jeden fallenden Meteores sprühte eine blaßviolette Flamme aus; der untere Endpunkt, und mehr noch der mit Sternenlicht glänzende Bahnstreifen selbst, war bisweilen bläulich oder grünlich und verlöschte dann; mitunter sah man ihn aber auch eine gekrümmte Form annehmen, dabei purpurroth werden und nur sehr allmälig ausblassen. — Manche Einwohner in Sudja haben diese Erscheinung früher als ich gegen 3 Uhr nach Mitternacht und noch früher gesehen; da-

Höchst merkwürdig war das Phänomen von 1833. Ueber dasselbe hat Olmsted, Prof. zu New-Hafen im Staate Connecticut Nachrichten aus verschiedenen Gegenden eingesammelt, es auch selbst beobachtet *). Die Namen und Lagen der Beobachtungsorte sind folgende:

1) Boston in Massachusets,	n. Br.	42° 21′,	w. L. von Greenwich	71° 4′.
2) New-Hafen in Connecticut,	= =	41° 18′,	= = = =	72° 58′.
3) Westponit,	= =	41° 24′,	= = = =	73° 57′.
4) Worthington, in Ohio,	= =	40° 4′,	= = = =	83° 3′.
5) Annapolis, in Maryland,	= =	39° —,	= = = =	76° 43′.
6) Emmitsburg, in Maryland,	= =	39° 40′,	= = = =	77° 10′.
7) Frederik, in Maryland,	= =	39° 24′,	= = = =	77° 28′.
8) Bowling-Green, in Missouri,	= =	39° 20′,	= = = =	91° —′.
9) Lynchbury, in Virginien,	= =	37° 30′,	= = = =	79° 22′.
10) Salisbury, in Nord-Carolina,	= =	35° 39′,	= = = =	80° 25′.
11) Augusta, in Georgien,	= =	33° —,	= = = =	82° —′.

Kürzere Notizen erhielt er ferner aus Long, Island, Sound, Hartfort, New-York, Washington, Richmond, Niagarra-Falls, Charleston, Poland (Ohio), Georgia und Macon (Georgien), Natchez (Missouri) und mehreren anderen Punkten der Vereinigten Staaten. Ueberdies flossen ihm auch Schiffernachrichten zu, und darunter besonders zwei recht wichtige: die eine vom Kapitain Gideon Parker, der sich zur Zeit des Meteors mit dem Schiffe Junior im Golf von Mexico unter 26° n. Br. und 85° 20′ w. L. befand, und die andere vom Kapitain des Schiffes Jenessee, damals gleichfalls im mexikanischen Meerbusen unter $23^1/_2$° n. Br. und 82° w. L. segelnd. — Rechnet man zu allen diesen noch Halifax in Neu-Schottland, Matanzas auf Cuba und Kingston auf Jamaica, so würde das Gebiet der Sichtbarkeit des Phänomens, so weit es bis jetzt bekannt geworden ist, sich vom 18. bis 43. Breitengrade und vom 61. bis zum 91. Längengrade, also beiläufig über eine Fläche von 100000 Quadratmeilen erstreckt haben. Aller Wahrscheinlichkeit nach hatte es aber, besonders landeinwärts nach West, eine nochweit größere Ausdehnung. Oestlich vom 61. Grad w. L. und südlich vom 2. Grad n. Br. scheint es indeß nicht mehr sichtbar gewesen zu sein; wenigstens wurde auf dem Schiffe Douglas, unter 2° n. Br. und 41° w. L., und auf der Brigg Francia, unter 36° n. Br. und 61° w. L., wie wohl beide Schiffe in der Nacht des 13. November heiteres Wetter hatten, nichts von dem Phänomen wahrgenommen. Zwischen 50° und 30° w. L. und 40° bis 50° n. Br. herrschte auf dem Meere, nach gleichlautender Aussage von fünf Schiffen, ein heftiger Westnordwestwind mit bedecktem Himmel. Derselbe scheint auch die Beobachtung weiterhin nach Norden gehindert zu haben, wenigstens war es zu Montreal in Neu-England der Fall. Zu den genauesten Beobachtungen gehört die von Olmsted selbst. Er berichtet folgendes:

---

mals ist das Licht der Meteore so intensiv und anhaltend gewesen, daß es, wie der Ausbruch einer nahen Feuersbrunst, das Innere der Zimmer erleuchtet hat. Die ganze Erscheinung hat man bis zum völligen Ausbruche des Tages fortdauern sehen. Die Anzahl der fallenden Meteore ist äußerst groß gewesen.

*) Poggend. Ann. Bd. XXXI. S. 159. u. Bd. XXXIII. S. 189.

Diesen Morgen (13. Nov. 1833) gegen Anbruch des Tages gewährte unser Himmel ein merkwürdiges Schauspiel von Feuerballen, gewöhnlich Sternschnuppen genannt. Der Beobachter wurde erst gegen $5^1/_4$ Uhr mittlerer Zeit auf das Phänomen aufmerksam gemacht. Von diesem Zeitpunkte ab bis zum Sonnenaufgange war es ungemein prächtig, Alles übertreffend, was er je in der Art gesehen hatte. Um eine Vorstellung von dem Phänomen zu bekommen, denke sich der Leser eine ununterbroche Folge von Feuerkugeln, raketenähnlich von einem wenige Grade südlich vom Zenith liegenden Punkte aus in allen Richtungen längs dem Himmelsbogen gegen den Horizont herabfahren. Sie begannen ihre Bahn in verschiedenen Abständen von jenem strahlenden Punkte, bewegten sich aber durchweg in solchen Richtungen, daß die Linien, welche sie beschrieben, aufwärts verlängert, einen und denselben Punkt des Himmels getroffen haben würden. Um diesen Punkt war ein kreisrunder Fleck von mehreren Graden, in welchem keine Meteore beobachtet wurden. Gewöhnlich ließen die Feuerkugeln beim Herabfahren vom Himmelsgewölbe einen lebhaften Lichtstreif hinter sich und just ehe sie verschwanden, explodirten sie oder lösten sich plötzlich in Rauch auf. Dabei war kein Knall oder sonstiges Geräusch zu hören, obwohl aufmerksam darnach gehorcht wurde. — Außer diesen distincten Massen oder individuellen Körpern zeigte die Atmosphäre phosphorische Linien als Gefolge eines Zuges kleiner Punkte, die in größter Fülle in einer nordwestlichen Richtung fortschossen. Diese copirten nicht so ganz die Gestalt des Himmels, sondern bewegten sich mehr in geradlinigen Bahnen und schienen dem Beobachter näher zu sein als die Feuerkugeln. Das Licht ihrer Schweife war auch blasser, nicht unähnlich den Zügen, welche man im Dunkeln durch Schreiben mit Phosphor auf eine Wand hervorbringen kann. Die Anzahl dieser Lichtzüge nahm wechselweise zu und ab: sie durchschnitten das Gesichtsfeld ab und zu wie vom Winde getriebener Schnee, obwohl in Wirklichkeit ihr Lauf gegen den Wind gerichtet war. — Von diesen beiden Varietäten zeigten sich dem Beobachter Meteore von verschiedener Größe und verschiedenem Glanze. Einige waren bloße Punkte, andere aber größer und heller als Jupiter und Venus; ja eins, welches eher erschien, als Olmsted geweckt wurde, soll, nach dem Urtheile eines glaubwürdigen Augenzeugen nahe so groß als der Mond erschienen sein. Das Aufblitzen, obgleich weniger intensiv als eigentliche Blitze, war so hell, daß die Einwohnerschaft in ihren Betten aufgeweckt wurde. Eine Kugel, welche in nordwestlicher Richtung fortschoß, und ein wenig nordwärts von Capella zersprang, ließ genau hinter dem Orte des Zerspringens einen phosphorescirenden Schweif von besonderer Schönheit zurück. Dieser Schweif war anfangs fast gerade, bald aber begann er kürzer und breiter zu werden, und die Gestalt einer sich aufrollenden Schlange anzunehmen, bis er endlich als eine kleine leuchtende Dampfwolke erschien. Diese Wolke entstand ostwärts (vermuthlich durch den Wind, der in dieser Richtung mäßig blies), entgegen der Richtung, in welcher das Meteor fortgeschritten war, und blieb mehrere Minuten sichtbar. Das Licht der Meteore war gewöhnlich weiß, hin und wieder auch prismatisch, mit Vorwalten des Blau. — Ein Viertel vor sechs Uhr schien es der Gesellschaft, in welcher sich Olmsted befand, als habe der Punkt der scheinbaren Radiation sich ostwärts vom Zenith ab bewegt; er merkte sich daher dessen Stelle unter den Sternen genau. Der Punkt lag damals im Sternbilde des Löwen, etwas westlich vom Gamma. Nach Verlauf einer Stunde nahm der Punkt noch dieselbe Stelle im Löwen ein, wiewohl dies Gestirn vermöge der

täglichen Drehung der Erde, um nahe 15 Grad nach Westen gerückt war. Nimmt man einen Himmelsglobus zur Hand, so wird man sehen, daß dieser Punkt eine Rectascension von 150 Graden und eine Declination von 21 Graden hatte, folglich, daß er, als er sich im Meridian befand, 20° 18′ südlich vom Zenith lag. — Das Wetter hatte sich kurz vorher verändert. Am Abend des 11. Nov. fiel mit Südwind viel Regen, und am 12. herrschte ein starker und stoßweiser Wind aus Westen. Am Abend war der Himmel sehr heiter; es fielen Sternschnuppen, aber nicht so zahlreich, daß sie eine besondere Aufmerksamkeit erregten. Am 13. des Morgens (zur Zeit des Meteors) war die Luft ruhig und der Himmel ungewöhnlich heiter.

Hieran schließt sich die Beobachtung von Palmer zu New-Haven. Palmer war in den ersten Stunden der Nacht außer Hause gewesen, und hatte währenddeß eine ungewöhnliche Anzahl von Sternschnuppen wahrgenommen; dies veranlaßte ihn, Andrew Ellicott's Beschreibung der am 12. Nov. 1799 erschienenen Meteore nachzulesen, wobei ihm dann die Gleichheit des Jahrestages sogleich in Erstaunen setzte. Von 7 Uhr Abends gewahrte er einen röthlichen Dunst, welcher anfangs unten am südlichen Horizonte erschien, allmälig aber an dieser Seite des Himmels bis zum Zenith heraufstieg. Er war sehr dünn, verdunkelte aber doch die kleineren Sterne. Als dieser Dunst erschien, war der Wind südwestlich, wiewohl er ein oder ein Paar Stunden zuvor West gewesen war. Um 12 Uhr zog sich Palmer zur Ruhe, um 2 Uhr wurde er aber schon durch einen seiner Untergebenen wieder geweckt, welcher die Meteore von seinem Zimmer aus gesehen hatte. — Palmer, das Phänomen für ein elektrisches haltend, machte sogleich einige Versuche, um den elektrischen Zustand der Atmosphäre zu prüfen. Sein seidenes Taschentuch, mit der rechten Hand an einem Ende gefaßt und schnell durch die linke gezogen, gab eine ungewöhnliche Anzahl elektrischer Funken. Beim Drehen einer kleinen Elektrisirmaschine waren deren Funken, die für gewöhnlich kurz und schwach zu sein pflegten, viel länger und stärker, als er sie je gesehen hatte. Seidenfäden, gegen eine Eisenstange gehalten, welche im Boden neben dem Hause stand, wurden von dieser stark angezogen. — Er untersuchte darauf seinen Compaß; er fand die Nadel unruhiger als gewöhnlich, doch, so viel er beurtheilen konnte, die gewöhnliche Declination zeigend. — Die zuerst beobachteten Meteore waren von röthlicher Farbe. Eine halbe Stunde nach angefangener Beobachtung schien sich die Zahl derselben verdoppelt zu haben, was er aus dem Vergleiche derselben mit einer gewissen als Marke dienenden Anzahl von Sternen schloß. Sie alle gingen anscheinend von einer kreisrunden, südöstlich vom Zenith liegenden Stelle aus. Die Stelle war heller als die anliegenden Theile des Himmels und anfangs nur klein; sie vergrößerte sich aber allmälig immer mehr und mehr, so daß sie am Ende der Beobachtung viele Male größer war als anfangs. Innerhalb dieses Raumes war er, so lange er aufrecht stand, nicht vermögend, irgend ein Meteor zu entdecken; als er sich aber auf den Rücken hinlegte, konnte er darin viele kurze Lichtlinien wahrnehmen, welche sich träge bewegten und hauptsächlich auf den nördlichen Theil jenes Raumes beschränkt waren. Nach 3 Uhr bestieg Palmer den West-Rock, eine Anhöhe nahe bei seinem Wohnhause von etwa 200 Fuß. Er konnte aber daselbst nichts Besonderes wahrnehmen, außer daß dort die Meteore weniger zahlreich erschienen. Er blieb eine Viertelstunde daselbst und kehrte dann zurück. — Von 3 bis 4 Uhr war die Luft ruhig, allein um 4 Uhr

blieš auf kurze Zeit ein starker Stoßwind aus Nordwest, und gleich darauf vermehrten sich die Meteore zum Erstaunen. Um diese Zeit, nämlich um 4 Uhr, mochte die Erscheinung wohl ihr Maximum erreicht haben. — In mäßigen Zeiträumen kehrten die Windstöße wieder, immer mit geringerer Kraft und jedesmal veranlaßten sie eine wahrnehmbare Vermehrung der Meteore. Die Lichtschweife, welche die explodirenden Feuerkugeln hinter sich ließen, waren meist gelblich, zuweilen aber auch röthlich. In der Mitte waren die Schweife am breitesten. Zu verschiedenen Zeiten hörte er eine Anzahl schwacher Explosionen, gewöhnlich dem Geräusche einer Klatschbüchse der Kinder gleichend, und nicht unähnlich dem einer Rakete. Ihnen folgte ein besonderer Geruch, welchen die ganze Gesellschaft, aus vier Personen bestehend, verspürte, und einer von diesen mit dem Geruche von Schwefel oder Zwiebeln verglich. Die Meteore, welche dieses Geräusch hervorbrachten, gingen alle in einer nordwestlichen Richtung. Zwei von ihnen hatten einen wohl begrenzten Kern, von der Größe einer Obertasse. Ihr Licht war mehrmals so stark, daß Palmer die Farbe des Bartes eines seiner Begleiter erkennen konnte. Sie gingen bis unter die Wipfel der etwa 25 Ruthen entfernten Bäume, und gaben einen Paff, genau ehe sie die Bäume erreichten. Eins der Meteore schien eine Scheune zu treffen und gab einen lauteren Paff als alle übrigen. — In Osten zeigte sich, vom Beginne der Beobachtungen an, fortwährend ein nordlichtartiger Schein, ähnlich der Morgendämmerung. — Kurz vor fünf Uhr versuchte Palmer den größten Kreis, welcher durch den Mittelpunkt der Strahlung und durch den Nord- und Südpunkt ging, mittelst eines Theodolithen roh in bestimmte Stücke zu theilen. Von denjenigen Meteoren, welche ihre Bahn am Himmel vorzeichneten, sank keins unter eine Höhe von 37° herab. Die, welche in den Raum von 37° bis 57° Höhe fielen, hatten eine röthliche Farbe und längere Schweife als die übrigen. Die Schweife umspannten einen Winkel von 40°. Meteore von gleicher Höhe hatten Schweife von gleicher Länge. In der nächsten Zone darüber (57° bis 77°) waren die Meteore blässer, aber zahlreicher. In der dann folgenden 25° breiten Zone (von 77° N. bis 12° S.), welche an den vorhin erwähnten kreisrunden Fleck grenzte, waren die Meteore am zahlreichsten, von weißer Farbe und mit kurzen Schweifen. Alle diese Beobachtungen wurden an der Nordseite des Bogens gemacht, an der Südseite schien sich einer Schätzung nach, Alles eben so zu verhalten, nur waren die Meteore minder zahlreich.

Die interessantesten Bemerkungen, zu denen die eben angeführten und andere Beobachtungen des Phänomens von 1833 Veranlassung gaben, sind folgende:

Es traten drei Arten von Meteoren auf, nämlich: 1) phosphorescirende Linien, von denen jede anscheinend von einem Punkte beschrieben wurde; 2) große Feuerkugeln, die in Pausen am Himmel herabschossen und Schweife hinterließen, welche gewöhnlich einige Zeit Bestand hatten; 3) leuchtende Körper, die eine Zeit lang sichtbar blieben. Die erste Varietät wird in verschiedenen Berichten als ein Schneien von Feuer bezeichnet. Es heißt auch, in 10 bis 12 Fuß Entfernung über der Erde seien sie wie Raketen zersprungen. Die Angabe der Entfernung beruht wahrscheinlich auf Gesichtstäuschung. Was die leuchtenden Körper betrifft, so sah z. B. Pease zu Poland im Staate Ohio einen leuchtenden Körper, welcher anscheinend 20 Fuß lang, 18 Zoll breit und von der Gestalt eines Gartenmessers war, der im Sternbilde des großen Bären erschien und über eine Stunde sichtbar blieb. Er senkte sich langsam nach dem Horizonte. Parson sah am Niagarafalle

in der Nähe des Zenith ein leuchtendes Quadrat, welches einige Zeit beinah stillstand und große Lichtstreifen aussendete. Geräusch wird nur in einigen Berichten erwähnt und scheint in der That nur beim Platzen der Feuerkugeln vorgekommen zu sein. Höchst beachtenswerth sind die Nachrichten, nach denen bei der Erscheinung Substanzen herabfallen. In der Grafschaft Nelson (Virginien) sagte man einem Hrn. Garland, es sei ein großer Wassertropfen auf eine Tonne gefallen; er sah sogleich nach und fand eine Substanz von der Größe eines 25 Cents-Stücks, ähnlich geronnenem Eiweiß oder richtiger einer zerstückelten thierischen Gallerte. — In Rahway (New-Jersey) sah man einen feurigen Regen den Boden treffen und fand Klumpen von Gallerte. — In Newark (New-Jersey) fand man gleich nach Sonnenaufgang eine gallertartige Masse, die man wegen ihrer sonderbaren Textur für meteorischen Ursprungs hielt. Sie glich weicher Seife, hatte wenig Elasticität und verdampfte, als man sie erwärmte, so leicht als Wasser. Es schien, als sei diese Masse mit bedeutender Kraft auf den Boden gefallen. — Zu West-Point sah eine Frau, die bei Sonnenaufgang Milchen ging, etwas vor sich niederfahren. Sie fand eine runde abgeplattete Masse von der Größe einer Obertasse, kleisterähnlich, und so klar, daß sie den Boden dadurch erblicken konnte. Als sie um 10 Uhr nach derselben Stelle zurückkehrte, war keine Spur von der Masse wieder zu finden. Ein Knabe fand indeß an der Stelle kleine, unregelmäßig geformte Körper von der Größe eines Schrotkornes oder Nadelkopfes, die beim Aufheben zu Pulver zerfielen. — In Hartford soll ein Bürger durch eine gegen sein Fenster schlagende Feuerkugel geweckt worden sein *).

Aus den Beobachtungen des Phänomens von 1833 geht noch hervor, daß die Atmosphäre sich während desselben in einem sehr elektrischen Zustande befand. Palmer's Beobachtung spricht hierfür und Liefland zu Poland (Ohio) sah um 10 Uhr Abends bei der geringsten Bewegung Funken aus seinen Kleidern springen, zu Lynchburg divergirte das Goldblattelektrometer und das Pendel der Zambonischen Säule ging schneller rc. Auch beobachtete man einigen Einfluß auf die Magnetnadel. Alle diese Erscheinungen scheinen auf Vorgang eines chemischen Processes in der Atmosphäre zu deuten. Doch können namentlich die magnetischen Erscheinungen auch mit der Nordlichterscheinung zusammenhängen, welche Palmer beobachtete, und die vielleicht zufällig war. Auch zu Dover in New-Hampshire wurde ein Nordlicht beobachtet, desgleichen zu Buffalo, Cincinnati, Poland. Das wichtigste Resultat der verschiedenen Beobachtungen ist endlich, daß den meisten Beobachtern die Meteore von einem festen Punkte am Himmel auszugehen, oder vielmehr Bahnen in solcher Richtung zu beschreiben schienen, daß sie rückwärts verlängert sich in einem solchen Punkte getroffen haben würden. Einige verlegten diesen Punkt in den Zenith, andere südöstlich vom Zenith, in das Sternbild des Löwen und sahen ihn darin still stehen, dies Gestirn auf seinem täglichen Gange begleitend. Gingen die Bahnen der Meteore von einem Punkte (scheinbar) aus, und hatte dieser Punkt eine feste Lage gegen die Sterne, — wie später (vergl. Heis) diese Ausgangspunkte in der That näher bestimmt wurden, — nahm also derselbe an der Rotation der Erde nicht Theil; so kann man hieraus schließen: 1) daß die Bahnen der Meteore ursprünglich und im Allgemeinen unter sich parallel waren,

*) Vergl. Poggend. Ann. Bd. XXXIII. S. 204 u. Bd. XXXVI. S. 315.

und ihre Divergenz nur auf optischer Täuschung beruhte und 2) daß diese Meteore, obschon sie in die Atmosphäre der Erde herabgehen mochten, doch kosmischen Ursprungs (außerhalb der Erdatmosphäre) waren. Encke *) hat die interessante Bemerkung gemacht, daß der Punkt der scheinbaren Radiation der Meteore nahe mit demjenigen zusammenfiel, auf welchen die Erde zur Zeit der Sichtbarkeit des Phänomens zueilte. Hiernach scheint es, als sei die Erde diesen Meteoren, die vielleicht ursprünglich keine oder nur geringe Bewegung hatten, auf ihrem Laufe um die Sonne begegnet, und aus der Wiederholung der Erscheinung in den verschiedenen Jahren wird man zu der Vermuthung geführt, daß die Erde gegen Mitte Novembers auf ihrer Bahn in eine Gegend des Weltraums kommt, welche vorzugsweise reich an Meteoren ist. Vergl. jedoch das bereits oben bei den periodischen Sternschnuppenströmen und das ebenfalls schon von Erman Angeführte über die Bewegung der Sternschnuppenkörper in geschlossenen Ringen.

Wir wenden uns jetzt von den Sternschnuppen zu den aus den zerplatzten Feuerkugeln herabgefallenen Steinmassen, den sogenannten Meteorsteinen, Meteorolithen, Mondsteinen. Um eine deutlichere Vorstellung von dieser merkwürdigen Erscheinung zu geben, halten wir es jedoch für nöthig, erst die Beschreibung einiger besonders interessanter Erscheinungen von Feuerkugeln folgen zu lassen.

Die am 11. Dec. 1741 im südlichen England erschienene Feuerkugel **) ist vorzüglich dadurch merkwürdig, daß sie bei hellem Sonnenschein um 1 Uhr Mittags gesehen wurde. Ihr Licht wird von dem einen Beobachter wie eine feurige Kohle, von Milner dagegen, der in allen seinen Ausdrücken am meisten Sachkenntniß zeigt, völlig so hell als der Mond erscheint, wenn er mit der Sonne zugleich am Himmel steht, beschrieben. Sie erschien in Peckham etwas größer als der Vollmond, bewegte sich nicht ganz so schnell als die Sternschnuppen fortzugehen pflegen; sie ließ einen Schweif zurück, der weißer als die Feuerkugel selbst erschien, und dieser war anfangs schmal, an beiden Enden zugespitzt, aber nach und nach wurde er breiter und nach 20 Minuten zeigte sich dieser Ueberrest der Erscheinung ganz einer hellen, dünnen Wolke gleich, die etwa dreimal so breit als zu Anfang war und etwas höher über dem Horizonte stand, als gleich nach dem Verschwinden der Kugel. Die Feuerkugel selbst ging von Südwest nach Nordost, ihr Weg ging östlich an der Insel Whight vorbei, ungefähr über die Gegend von Canterbury. Ihre ganze Dauer wird zu 4 Sec. angegeben; sie verschwand mit einem sehr heftigen, doppelten Knalle, von welchem in einigen Gegenden der Grafschaft Sussex und in Canterbury die Häuser erbebten, und dieser Knall scheint nicht bis London hin und nicht bis zur Insel Whight hörbar gewesen zu sein.

1758 am 26. November Abends um 8 Uhr erschien in England eine merkwürdige Feuerkugel ***). Pringle hat die Beobachtungen gesammelt und auf eine sehr passende Weise zusammengestellt, und obgleich nicht alle ganz in Uebereinstimmung sind, so kann man doch folgende Angaben als im Wesentlichen allen Beobachtungen entsprechend ansehen. Das Meteor muß in der Gegend von Cam=

*) Poggend. Ann. Bd. XXXIII. S. 213.
**) Phil. Transact. for 1741. p. 870; 1742. p. 1. 188.
***) Phil. Transact. for 1759. Vol. 51. p. 218. 259.

bridge zuerst entstanden oder leuchtend geworden sein. Dort sah man eine in weißem Lichte ungemein hell glänzende Kugel, etwa halb so groß im Durchmesser als der Mond, gegen Nord-Nordwest fortziehen. Als die Kugel noch 6 oder 7 Grade vom Horizonte war, schien der Schweif zu zerbersten, wobei das Licht blendend wurde; darauf verschwand der Schweif, und drei Sterne, die der Kugel folgten, zeigten sich. Der Glanz war so groß, daß man eine auf der Erde liegende Nadel hätte sehen können. Die Beobachtungen aus Manchester und Cockermouth in Cumberland bestätigen diese Umstände. In Carlisle sah man keine abgesonderte Kugel, sondern die ganze Masse scheint, als sie in diese Gegend gelangte, kegelförmig hinten zugespitzt gewesen zu sein. Auch hier erschien sie in dem hellsten Glanze. Aus dem hinteren Theile des Meteors hat man hier, so wie in Newcastle, Ducham, Dumfries, Funken hervorkommen gesehen, die nach einigen Nachrichten beim Herabfallen sich zerstreuten. Eine Minute nach dem Verschwinden (die Zeitbestimmung ist nicht ganz gleich bei den Beobachtern) hörte man in Carlisle zwei Explosionen gleich nach einander, welche Kanonenschüssen, aus $^1/_2$ deutschen Meile Entfernung gehört, ähnlich waren. Diese Explosion beschreibt ein Beobachter, der 15 engl. Meilən nordöstlich von Carlisle war, als ein furchtbares Krachen, lauter als der stärkste Kanonenknall, und sagt, daß dieses 6 bis 8 Sec. dauerte. Während des Fortziehens der Kugel wollten einige Beobachter ein Zischen gehört haben, da aber andere an eben den Orten es nicht hörten, so hält Pringle dieses für Täuschung. Aus den noch nördlichern Gegenden, namentlich aus Stitchill, 15 deutsche Meilen nördöstlich von Carlisle, wurde berichtet, daß man eine ungemein leuchtende Erscheinung gesehen und nachher einen lauten Donner gehört habe, aber einen eigentlichen Körper, der das Licht aussendet, habe man nicht gesehen. Pringle glaubt daher, daß, nachdem das Meteor zwischen Carlisle und Dumfries hingezogen war, es einige Meilen südlich von Douglas die Veränderung erlitten hatte, welche die Beobachter als ein Abbrechen des Schweifes beschreiben, aus welchem Funken hervorbrachen. Der Haupttheil, in den sich die Ueberreste des Schweifes sammelten, ging dann bis über Fort William, und bei Inverneß muß das Meteor nach einem Laufe von 400 englischen (90 bis 100 deutschen) Meilen verschwunden sein. Dennoch scheint dasselbe, obgleich es hier erloschen war, fortgezogen zu sein und sich noch einmal leuchtend gezeigt zu haben; denn in 58 Grad Breite an der Westküste der Grafschaft Roß sah man es recht glänzend, doch nicht der Sonne gleich, nach Süden fortziehen (der vorigen Richtung entgegen); das Licht glich dem Lichte des brennenden Weingeistes, die Kugel erschien hier ohne Schweif und ließ Funken von verschiedener Größe und Farbe herabfallen. Die Beobachtungen zeigten, daß es oberhalb Cambridge 20 bis 23 deutsche Meilen hoch war, oberhalb Fort William nur 6 bis 8 deutsche Meilen. Die Geschwindigkeit des Meteors mußte über 6 deutsche Meilen in der Secunde sein.

Am 24. Juli 1790, Abends halb 10 Uhr, erschien (vgl. 10. a) zu Mormes im südl. Frankreich eine Feuerkugel von so hellem Glanze, daß sie den Vollmond verdunkelte. Ihr Durchmesser war noch größer als der seinige, und sie zog einen Schweif hinter sich her, welcher 5 bis 6 Mal so lang war als dieser Durchmesser. Nahe an der Kugel war er so breit wie diese, aber nach dem Ende hin nahm er allmälig ab. Sowohl die Kugel als der Schweif hatten ein weißes Licht; die Spitze des letztern war dunkelroth. Das Meteor wurde zu Mormes zuerst im Scheitelpunkte

gesehen und nahm seinen Lauf nordwärts. Nach einigen Secunden theilte es sich in mehrere immer noch beträchtliche Stücke, welche in verschiedenen Richtungen nach dem Horizonte herabfielen. Sie erloschen in der Luft und nahmen im Fallen die rothe Blutfarbe an, welche man an der Spitze des Schweifes bemerkt hatte. Ungefähr drei Minuten nach dem Zerspringen hörte man ein schreckliches donnerähnliches Getöse, wobei zugleich der Erdboden so heftig wie bei einem Erdbeben erschüttert wurde, Thüren und Fenster aufsprangen und dergleichen mehr. Dieses furchtbare Getöse dauerte an vier Minuten und verlor sich in ein dumpfes Geräusch, welches sich längs der benachbarten Gebirgsketten als dumpfer Wiederhall zu verlieren schien. Zugleich verbreitete sich ein starker Schwefelgeruch und erhob sich ein frischer Wind. An der Stelle, wo die Feuerkugel verschwunden war, bemerkte man ein kleines weißliches Wölkchen. Die Zeit, welche zwischen dem Zerspringen der Kugel und dem darauf folgenden Getöse verfloß, ließ auf die Entfernung des Meteors schließen, und man vermuthete, daß es in einer Höhe von etwa 8 Meilen zersprungen und die Trümmer etwa 4 Meilen von Mormes niedergefallen sein mochten. Bald war diese Vermuthung durch die Nachricht von einem Steinregen bestätigt, welcher um die nämliche Zeit zu Juliac und Barbotan, wovon jenes 4 Stunden nördlich, und dieses 5 Stunden nordöstlich von Mormes lag, gefallen war. In einer kleinen Entfernung von Juliac mußte das Meteor wohl zersprungen sein, denn dort bedeckten die Steine in einem fast kreisförmigen Raume von ungefähr zwei Meilen im Durchschnitt ein wenig bebautes Haideland, nur wenige waren bei einigen Häusern in Höfen und Gärten gefallen, mehrere aber hatten Bäume in den Wäldern niedergeschlagen. Ihre Schwere betrug zum Theil 18, 20 bis 50 Pfund, ein gegen den Umfang sehr auffallendes Gewicht. Auswendig waren sie mit einem verglasten, schwärzlichen Eisenkalk überzogen, inwendig hatten sie ein grauliches Ansehen und viele kleine, glänzende, metallische Punkte. Am Stahle gaben sie Funken. Einige waren ganz verglaset. Das Niederfallen dieser Steine war mit einem starken Gezisch begleitet, so wie man auch beim Laufe der Feuerkugel ein Geräusch und Knistern gehört hatte. Dieses nämliche Meteor wurde auch zu Bayonne, Auch, Pau, Bordeaux und Toulouse gesehen. Am letzten Orte erschien es nicht stärker als eine der größten Sternschnuppen; man hörte aber auch hier nach dem Zerspringen ein donnerähnliches dumpfes Getöse.

Ueberlieferungen von Steinfällen gab es aus alter *) und neuerer Zeit, aber die Naturforscher glaubten nicht an das Phänomen, bis zuerst am 16. Juni 1794 zu Siena **) und am 13. December 1795 zu Woodcottage in Yorkshire ***) ein Steinfall sich ereignete, der so constatirt war, daß jeder Zweifel unmöglich wurde. Schon in der Ostermesse 1794 war ein Werk von Chladni (9.) erschienen, in welchem Nachrichten von Meteorsteinen zusammengestellt und die Richtigkeit der Thatsache behauptet wurde, daß zuweilen Steine vom Himmel fielen. Unter-

---

*) Am bekanntesten ist die Erzählung des Livius (Histor. Lib. I. cap. 30), daß es 654 v. Chr. auf dem Albanischen Berge Steine geregnet habe.

**) Gilb. Ann. Bd. VI. S. 13. — Opuscoli scelti da C. Amoretti. Atti dell' Accademia di Siena. T. IX. — Memoria sulla pioggia di pietre nella Campagna Sanese. Napoli 1794.

***) Gentlemans Magazine 1796. Febr.

suchungen von King *) und Howard **) bestätigten Chladni's Behauptungen. Am 26. April 1803 zu l'Aigle im französischen Departement de l'Orne wurden ein paar Tausend Steine über eine gewisse Fläche ausgestreut und eine große Anzahl von Augenzeugen bestätigte die Wahrheit des Phänomens. Die Pariser Akademie übertrug Biot die Untersuchung am Orte der Erscheinung selbst, welche die Sache mit allen schon früher überlieferten Nebenumständen völlig außer Zweifel setzte ***). Seitdem ist eine große Anzahl von Steinfällen beobachtet worden, so daß diese Naturerscheinung nicht zu den seltensten gehört. In Frankreich wurden von 1790 bis 1815 nicht weniger als 10 Meteorsteinfälle beobachtet, woraus man auf jedes Jahr für die ganze Erde 700 oder auf jeden Tag nahe 2 Steinfälle berechnet hat, und dies ist wohl noch zu wenig, da man von 1837 bis 1843 ebenfalls in Frankreich 19 feurige Meteore, freilich ohne ihr Niederfallen zu constatiren, wahrgenommen hat; nach v. Schreiber's (10. b) ereignen sich jährlich etwa 2500 Meteorsteinfälle; daß dergleichen Feuermeteore aber Meteormassen sind, darüber besteht jetzt kein Zweifel mehr. Auf Chladni's Verzeichniß von Feuerkugeln nebst den Nachträgen von v. Hoff ist bereits oben verwiesen, als der Nachweis für die November-Periode der Sternschnuppen geführt werden sollte; nachstehend geben wir nach demselben ein Verzeichniß der seit 1800 bekannt gewordenen Meteorsteinfälle, so wie der bekannten Eisenmassen, welche wahrscheinlich meteorischen Ursprungs sind, und verweisen außerdem auf die Tabelle, welche v. Baumhauer ****) geliefert hat.

Meteorsteinfälle: 1801 auf Ile des Tonnelliers. 1802, Sept. in Schottland. 1802, Alhabad in Hindostan. 1803, 26. April bei l'Aigle. 1803, 4. Juli bei East-Norton. 1803, 8. Oct. bei Apt (Frankr.). 1803, 13. Dec. bei Eggenfelde. 1804, 5. April bei Glasgow. Von 1804 bis 1807 bei Dortrecht. 1805, 25. März bei Doroninsk in Sibirien. 1805, Juni zu Constantinopel. 1806, 13. März zu Alais. 1806, 17. Mai in Hantshire. 1807, 13. März bei Timochin in Rußland. 1807, 14. Dec. bei Weston in Connecticut. 1808, 19. April zu Borgo San-Donino. 1808, 22. Mai bei Stannern in Mähren. 1808, 3. Sept. zu Lissa in Böhmen. 1808 zu Mooradabad in Hindostan. 1809, 17. Juni im Meere nahe bei Nordamerika. 1810, 30. Jan. in Caswel in Amerika. 1810 im Juli bei Shabad in Indien. 1810 im August in der Grafschaft Tipperary in Irland. 1810, 23. Nov. bei Charsonville in der Nähe von Orleans. 1810, 28. Nov. im Meer beim Cap Matapan. 1812, 12. bis 13. März in der Provinz Pultawa in Rußland. 1811, 8. Juli zu Berlanguillas. 1812, 10. April bei Toulouse. 1812, 15. April zu Erxleben. 1812, 5. Aug. zu Chantonay. 1813, 14. März zu Cutro in Calabrien (mit rothem Staube). 1813 im Frühjahr bei Malpas unweit Chester. 1813, 10. Sept. bei Limerik in Irland. 1813, 13. Dec. bei Lontalax und Savitaipal unweit Viborg in Finnland. 1814, 3. Febr. bei Bacharut in Rußland. 1814, 5. Sept. bei Agen. 1814, 5. Novbr. in Doab in Indien. 1815, 18. Febr.

*) Remarks concerning stones said to have faller from the clouds etc. Lond. 1796.

**) Philos. Transact. for 1802.

***) Mémoires de l'Instit. T. VII. Gilb. Ann. Bd. XVI. S. 44.

****) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 476.

zu Duralla in Indien. 1815, 3. Oct. zu Chassigny bei Langres. 1816 zu Glastonbury in Sommersetshire. 1817 zwischen 2. und 3. Mai im baltischen Meere. 1818, 15. Febr. zu Limoges. 1818, 30. März bei Zaborzyca in Volhynien. 1818, 10. Aug. zu Slobotka in der russ. Provinz Smolensk. 1818 in Macedonien. 1819, 14. Juni zu Jonzac im Dep. Unt.-Charente. 1819, 13. Oct. bei Politz unweit Gera oder Köstritz im Fürst. Reuß. 1820, 21. bis 22. März zu Vedenburg in Ungarn. 1820, 12. Juli bei Likna im Kreise von Dunaburg, Prov. Witepsk in Rußland. 1821, 15. Juni bei Juvenas. 1822, 3. Juni zu Angers. 1822, 10. September bei Karlstadt in Schweden. 1822, 13. Sept. bei la Basse, Canton Epinal, Dep. Wasgau. 1822 im Nov. zu Rourpour bei Futtehpore in Ostindien. 1823, 7. Aug. bei Nobleboro in Amerika. 1824, Ende Jan. bei Arenazzo im Gebiet v. Bologna. 1824, 18. Febr. in der Prov. Irkutzk in Sibir. 1824, 14. Oct. bei Zébrak, Kreis von Beraun in Böhmen. 1825, 14. Sept. auf der Sandwichinsel Wahu. 1826, 15. März in der Gegend von Lugano. 1826, 19. Mai im russ. Gouv. Ekaterinoslav. 1826 im Aug. auf den Galapiau-Höhen im Dep. Lot und Garonne. 1828, 1827, 27. Febr. im District Azim-Gesh in Hindostan beim Dorfe Mhow. 1827, 9. Mai zn Drake Creek im nordamer. Staate Tenessee. 1827 im Aug. in der chines. Prov. Kuld-Schuh. 1827, 5. oder 8. Oct. bei dem Dorfe Kuasti-Knasti bei Bialystock in Polen. 1828, im Mai bei Tscheroi zwischen Krajowa und Widdin. 1828, 4. Juni in der Grafsch. Chesterfield in Virginien. 1829, 8. Mai bei Forsyth im Canton Monroe des nordamer. Staates Georgien. 1829, 14. Aug. bei Deal im nordamer. Staate Neu-Jersey. 1829, 9. Sept. bei Krasnyi-Ugal im russ. Dep. Rjäsan. 1829, 19. Nov. bei Prag. 1831 zu Bouillé im franz. Dep. de la Vienne. 1831, 9. Sept. bei Wessely im hradischer Kreise in Mähren. 1833, 16. Juli bei Nachratschinsk im Dep. Tobolsk. 1833, 25. Nov. bei Blansko in Mähren. 1835, 13. Nov. im Arond. Belley im Dep. Ain (zündete ein Haus an) *).

---

*) Die Bewohner von China, Japan und den benachbarten Provinzen haben besondere Aufmerksamkeit auf die Erscheinung von Meteorsteinfällen gewendet. Sie haben über dieselben ein bei weitem vollständigeres Verzeichniß als wir. Dasselbe geht bis in das 7. Jahrh. vor Chr. Abel Remusat hat 1819 eine interessante Schrift über diesen Gegenstand bekannt gemacht. Von diesen interessanten chinesischen Beobachtungen möge Folgendes als Beispiel dienen: 644 v. Chr. im Frühjahr im ersten Monde am Tage Ou-Chin des Neumondes fielen 5 Steine im Königr. Saung (Ho-non). 211 v. Chr. fiel eine Sternschnuppe (Feuerkugel) zu Toung-kiun und als sie zur Erde kam, verwandelte sie sich in Stein. Man gravirte auf den Stein: „der Kaiser wird sterben und sein Reich wird getheilt werden." Der Kaiser ließ die Urheber dieses Betrugs strafen und den Stein verbrennen (durch Feuer zerstören). 32 v. Chr. im neunten Monde am Tage Ou-tseu ging eine Feuerkugel vom großen Bären aus; ihr Licht war weiß und ihr Glanz erleuchtete die Erde. Sie hatte eine längliche Gestalt von 40 Fuß Länge und bewegte sich wie eine Schlange. Nachher wuchs sie bis zur Länge von 50 oder 60 Fuß ꝛc. 2. n. Chr. im 6. Monde fielen zwei Steine zu Kiu-lou. Seit der Zeit von Hoeï-te zählt man 11 Steinfälle, die alle von Lichterscheinung und von einem Getöse wie das des Donners begleitet waren. 310 im 10. Monde am Tage Keng-tseu fiel im N. W. eine Sternschnuppe mit Getöse, man ließ sie suchen und der Kaiser erhielt davon Stücke zu Phing-yang. 333 fiel 6 Meil. nordwestl. von Ye eine Sternschnuppe, anfangs von rothschwärzlicher Farbe. Eine gelbe Wolke dehnte sich wie ein Vorhang mehrere hundert Schritte weit aus. Man vernahm ein Getöse, wie das des Donners. Als sie zur Erde fiel war sie glühend, der Staub flog gen Himmel. Arbeiter, die sie fallen sahen, suchten

Eisenmassen, welche für meteorisch zu halten, sind folgende bekannt. Die von Pallas in Sibirien aufgefundene Masse (sie wiegt noch 1270 russ. Pfd.). Ein in Eibenstock und Johanngeorgenstadt gefundenes Stück. Eine vielleicht aus Norwegen gekommene Masse, welche im kaiserlichen Cabinet zu Wien aufbewahrt wird. Eine kleine, 4 Pfd. wiegende Masse, gegenwärtig in Gotha. Eine 1751 zu Agram herabgefallene Masse. Aehnliche Stücke wurden gefunden auf dem rechten Ufer des Senegal; auf dem Kap der guten Hoffnung; in Mexiko in verschiedenen Gegenden; in der Provinz Bahia in Brasilien; in der Gerichtsbarkeit von St. Jago del Estero; zu Ellbogen in Böhmen; bei Lelarto in Ungarn; mehrere in Nordamerika gefundene Massen; in den Umgebungen von Bitburg ohnweit Trèves (wiegt 3300 Pfd.); bei Brahin in Polen; in der Republik Columbien, auf den östlichen Cordilleras des Andes; in einiger Entfernung von der Nordküste der Baffinsbai an einem Orte Sowallik (zwei Massen: die eine scheint solid, die andere steinig und mit Eisenstücken gemengt, aus denen die Esquimaux eine Art Messer verfertigen). Vielleicht gehört hierher eine große etwa 40 Fuß hohe Masse im östlichen Asien, von der die Mongolen, welche sie Khadasutkilao, d. h. Felsen des Pols nennen, sagen, daß sie in Folge eines Feuermeteors herabgefallen sei. Zweifelhaft sind eine Masse bei Aix la Chapelle, welche Arsenik enthält, eine im Mailändischen gefundene Masse und die bei Groskamsdorf gefundene Masse mit etwas Blei und Kupfer. Meteorischen Ursprungs sind ferner wahrscheinlich: eine im Dorf la Caille bei Grosse im Dep. du Var liegende Eisenmasse von 10 bis 12 Centner Gewicht; Eisenmassen in der Wüste Atacama in Chili; eine bei Bohumilitz in Böhmen 1829 gefundene Eisenmasse (103 Pfd. schwer); eine Masse von der Riviere Rouge in Louisiana; eine eiserne Keule im Lamkloster Sera in Tibet, welche als Heiligthum bewahrt wird; der schwarze Stein in der Kaaba zu Mekka. Hierzu fügen wir noch die große Eisenmasse zu Aachen *), welche arsenikhaltig ist und eine um 1440 in Kleinasien gefallene Masse **); außerdem bemerken wir, daß Ritter ***) einige interessante Nachrichten aus dem Oriente bekannt gemacht hat. Wilken ****) theilt aus einem arabischen Manuscripte eine Nachricht von Meteoreisen mit, welches zu Schwertern ausgeschmiedet wurde. Ueberhaupt ist alles gediegene Eisen, welches auf der Erde gefunden wird, meteorischen Ursprungs *****).

---

sie auf; die Erde war noch heiß. Sie sahen einen wenigstens 1 Fuß breiten Stein von schwärzlicher Farbe und ziemlich leicht, welcher geschlagen wie das Instrument King tönte. 1057 fiel im 1. Monde zu Hoang-lieï in Corea ein Stein mit starkem Getöse. Derselbe wurde an den Hof geschickt, und dieser nahm ihn als etwas nicht Unerhörtes, ohne Vorbedeutung auf. 1516 im 12. Monde am 25. Tage fielen zu Chun-king-fou in der Provinz Sse-tchhouan ohne vorhergehenden Wind oder Wolken plötzlich unter Donnergetöse 6 Steine. Die schwersten wogen 15 bis 17 Pfd., die kleinsten 1 Pfd. bis 10 Unzen. Ueberhaupt wurden in China in den verschiedenen Jahrhunderten folgende Steinfälle beobachtet: Im VII. Jahrh. vor Chr. 2, im III. 1, im II. 1, im I. 11, im I. Jahrh. nach Chr. 4, im II. 4, im III. 3, im IV. 11, im V. 2, im VI. 11, im VII. 11, im VIII. 7, im IX. 14, im X. 11, im XI. 14, im XII. 6, im XIII. 1, im XVI. 1.

*) Poggend. Ann. Bd. XXIV. S. 230.

**) Wiener Zeitschrift. Th. VII. S. 264.

***) Poggend. Ann. Bd. XVIII. S. 621.

****) Poggend. Ann. Bd. XXVI. S. 350.

*****) Poggend. Ann. Bd. XXXVIII. S. 238, vergl. auch: Bd. XXXIII. S. 138; Bd. LXXIII. S. 329.

Ueber den Ursprung dieser Körper wurde viel gestritten. Da der Steinfall zu Siena 18 Stunden nach einem heftigen Ausbruche des Vesuvs erfolgte, so war man zunächst der Meinung, daß es Auswürflinge der feuerspeienden Berge seien. Wenn man aber bedenkt, daß wegen des Luftwiderstandes selbst eiserne und bleierne Kugeln schwerlich bis in eine Entfernung von über 50 Meilen geschleudert werden können, so wird dies mit einer Masse von geringerem specifischen Gewichte noch weniger der Fall sein, wozu noch kommt, daß man dergleichen Steinfälle in Gegenden beobachtet hat, welche Hunderte von Meilen entfernt sind von thätigen Vulkanen, z. B. in Frankreich. Außerdem spricht auch die Structur der gefallenen Massen gegen eine solche Entstehung, und jetzt möchte nicht leicht Jemand gefunden werden, welcher diese Ansicht zu vertreten gesonnen sein möchte.

Ehe über den Ursprung dieser Massen etwas Gegründetes behauptet werden kann, ist es nöthig sich von ihrer Beschaffenheit näher zu unterrichten.

Sehr genaue chemische Untersuchungen haben gezeigt, daß die meisten Meteorsteine in der Zusammensetzung einander höchst ähnlich sind. Berzelius*) wurde durch eine an denselben ergangene Aufforderung veranlaßt, den am 25. Nov. 1833 6½ Uhr Abends in der Nachbarschaft von Blansko in Mähren gefallenen Meteorstein zu untersuchen. Derselbe bildete wie gewöhnlich ein stark leuchtendes Feuerphänomen und seinem Falle ging ein donnerähnliches Getöse voran. Der Bergamtsdirector Reichenbach, welcher sich damals auf dem Felde befand und Zeuge des Meteors war, stellte hernach mit einer starken Mannschaft eine Aufsuchung der gefallenen Masse an, und dadurch glückte es endlich, kleine Stücke zum Belauf von etwa einem halben Pfunde aufzufinden, die Hauptmasse wurde jedoch wegen der waldigen Beschaffenheit der Gegend nicht gefunden. Berzelius hat sowohl diesen als eine Menge anderer Meteorstreine, in deren Besitz er sich befand, chemisch untersucht und beschrieben. Was das äußere Ansehen dieser Meteorsteine betraf, so wichen sie vielfach von einander ab. Der Meteorstein von Blansko gehört zu den am häufigsten vorkommenden und konnte neben einen derselben gelegt, z. B. neben den von Benares, l'Aigle, Verlongville ꝛc. von ihm nicht unterschieden werden. Die Beschreibung dieser Steine ist folglich übereinstimmend. Er hat die gewöhnliche äußerlich geschmolzene Rinde, eine hellgraue, etwas rothfleckige feinkörnige Bruchfläche, die hie und da runde Kügelchen von gleicher Farbe mit dem Steine zeigt; letztere können aufgelöst werden und hinterlassen dann eine glatte Höhlung. Er enthält viel Nickeleisen und sehr wenig Schwefeleisen in feinen Partien überall eingesprengt und dadurch zeigt er glänzende Punkte, von denen einige in einer gewissen Richtung röthlich erscheinen, jedoch nichts anderes als angelaufenes Nickeleisen sind. Zerstößt man den Stein zu einem gröblichen Pulver, so kann das Nickeleisen mit einem Magnet ausgezogen und unter Wasser von der sichtlich anhängenden Steinsubstanz abgewaschen werden, so daß die Eisentheilchen beinahe silberweiß zurückbleiben. Unter einem zusammengesetzten Mikroskop kann man mit Deutlichkeit keine anderen Bestandtheile unterscheiden als ein weißes splitteriges Mineral, welches durchscheinend zu sein scheint und bei den

---

*) Abhandl. der Akad. d. Wissensch. zu Stockholm in Zeitsch. für Physik und verm. Wissensch. Th. I. S. 290. Poggend. Ann. Bd. XXVII. S. 118 u. besonders Bd. XXXIII. S. I. u. 113.

Rostflecken gelblich ist, und die metallischen kantigen Körner. Dasselbe ist der Fall, wenn man das gröbliche Pulver des Minerals unter dem Mikroskop betrachtet; allein dann sind seine Theile durchsichtiger.

Der Meteorstein von Chantonnay, welchen Berzelius untersuchte, fiel unter den gewöhnlichen Erscheinungen einer Feuerkugel und unter einem donnerähnlichen Getöse um 2 Uhr Morgens am 5. Aug. 1812 nicht weit von Chantonnay im franz. Dep. Vendée, und ward an demselben Tage von dem Pächter des Gutes la haute Révelisor auf einem Felde in der Nähe seines Wohnhauses aufgefunden. Er war drittehalb Fuß tief in die Erde eingedrungen und roch noch stark nach Schwefel. Er wog 69 Pfund und besaß eine viel größere Härte und Cohäsion als gewöhnlich die Meteorsteine, so daß er am Stahl Funken gab. Seine Bruchfläche hatte eine dunklere Farbe als gewöhnlich die Meteorsteine haben und an einigen Stellen war sie ganz schwarz. Die umgebende verglaste Rinde war weniger schwarz und zuweilen dunkel grauroth.

Der Meteorstein von Lontalax fiel am 13. Dec. 1813 in der Nähe des Dorfes Lontalax im Kirchspiel Savitaipals im Län Viborg in Finnland. Ein großer Theil der Stücke fiel auf das Eis, von wo sie aufgehoben wurden. Nach Nordenskiölds Angabe enthält dieser Meteorstein folgende Gemengtheile: 1) Ein hell olivengrünes Mineral, welches sich vor dem Löthrohre wie Olivin verhält, nur in geringer Menge vorkommt und nicht größer ist als ein Stecknadelknopf. 2) Ein hell klares, weißes, blättriges Mineral, welches auf der Oberfläche krystallinisch aussieht und leicht zerbröckelt. 3) Schwarze, dem Magnet folgsame Punkte. 4) Ein aschgrauer, wenig zusammenhängender Stoff, welcher ohne Aufschwellen zu einer schwarzen Kugel schmilzt und die reichlichste Masse des Steines ausmacht. Auswendig ist er von einer schwarzen Schlackenrinde umgeben. Berzelius besaß von der aschgrauen Hauptmasse nichts. Das von ihm zur Analyse angewandte Stück beschreibt er näher wie folgt: „Es ist im Vergleich mit gewöhnlichen Meteorsteinen weiß, neben weißen Mineralien aber graulich, kaum merklich ins Grüne fallend. Hie und da sind schwarze Punkte eingesprengt, welche dem Magnet folgen und sich in Salzsäure ohne Geruch nach Schwefelwasserstoffgas und ohne Gasentbindung zu einer dunkelgelben Flüssigkeit auflösen, woraus also folgt, daß sie aus Eisenoxyduloxyd oder Magneteisenstein bestehen. Es ist übrigens ein Aggregat von Theilen, welche ohne gerade krystallisirt zu sein, doch krystallinisches Gefüge haben, und so locker zusammenhängen, daß der Stein sich mit Leichtigkeit zerbrechen läßt. Die Brocken, die dabei abfallen, gleichen sehr dem zarten Pulver von glasigem Feldspath, was Nordenskiöld auf die Vermuthung brachte, sie seien Leucit."

Der Fall des Meteorsteines vor Alais in Frankreich ereignete sich am 15. März 1806 um $5^1/_2$ Uhr Nachmittags. Es wurden zwei Knalle gehört und es fielen zwei Steine nieder, der eine bei St. Etienne de Lolm und der andere bei Valence, beides Dörfer, jenes $4^1/_2$, dieses 2 Lieues von Alais entfernt. An beiden Orten wurde der Fall von glaubwürdigen Personen bezeugt, welche die Steine auflasen. Der erste wog 8, der letztere ungefähr 4 Pfund. Sie zersprangen beim Fall. Dieser Stein ist von allen anderen verschieden. Er gleicht einem verhärteten Thon und zerfällt im Wasser mit Thongeruch. Seine Farbe ist schwarz, etwas ins Graue fallend, mit dichten, weißen Punkten oder einem Anfluge; dabei ist er leicht zerbrechlich und zerbröckelt schon zwischen den Fingern.

Gerieben mit dem Nagel oder einem anderen glatten Körper nimmt er Politur an, wie es oft mit Thonarten der Fall ist. In Wasser gelegt zerfällt er nach einigen Augenblicken zu einem graugrünen Brei von einem starken Thongeruch mit einem nicht unangenehmen Nebengeruch von frischem Heu. Geschlemmt und sodann getrocknet hat das Pulver eine aus Schwarz, Grün und Braun zusammengesetzte Farbe. Nach der von ihm angestellten Analyse meint Berzelius, dieser Meteorstein könne für nichts anderes als für einen Erdklumpen gehalten werden, und zeige, daß die Bergarten in seiner Heimath durch einen geologischen Proceß in Erde verwandelt würden, wie es auf unserem Planeten der Fall ist. Der Umstand, daß darin metallisches Eisen, Schwefeleisen, nebst den Oxyden von Nickel, Kobalt, Zinn, Kupfer und Chrom enthalten sind, zeige, daß diese Erde aus der gewöhnlichen Meteorsteinmasse, welche hier hauptsächlich Meteor-Olivin ist, gebildet worden sei. Es leidet, sagt Berzelius, folglich keinen Zweifel, daß der untersuchte Stein, ungeachtet aller seiner Verschiedenheiten im Aeußeren ein Meteorstein ist, welcher, aller Wahrscheinlichkeit nach, aus der gewöhnlichen Heimath der Meteorsteine herstammt.

Die berühmte Meteormasse, welche durch Pallas in Europa bekannt geworden, lag auf dem Kamm eines Schieferberges in einer Gegend von Sibirien zwischen Krasnojarsk und Abekansk. Die Einwohner sahen sie für ein vom Himmel gefallenes Heiligthum an und die Volkssage bewahrte das Andenken von diesem Falle auf, obgleich alle historischen Nachrichten darüber fehlten. Pallas schätzte ihr Gewicht auf 1600 Pfund. Gegenwärtig möchte sie, meint Berzelius, wohl gänzlich unter die öffentlichen und privaten Mineralienkabinette vertheilt sein. Diese ungewöhnliche Meteormasse bestand hauptsächlich aus einem Skelett von Eisen, ähnlich einem wohlausgegohrenen Brote, dessen runde und dichte Höhlungen mit grünlichem glasklaren Olivin ausgefüllt waren.

Ueber den Fall der Meteoreisenmasse von Ellbogen ist keine historische Nachricht vorhanden; allein ihre Aufbewahrung seit unbekannter Zeit auf dem Rathhause der Stadt Ellbogen deutet darauf hin, daß ihr Fall beobachtet worden ist, und dies Veranlassung gegeben hat, sie in Sicherheit zu bringen. Der ihr vom Volke gegebene Name: der verwünschte Burggraf scheint darauf hinzuweisen, daß sie innerhalb des ziemlich kurzen Zeitraums, wo Ellbogen von Burggrafen regiert wurde, um den Anfang des 15. Jahrh., niedergefallen ist. Jetzt wird sie in Wien aufbewahrt.

Aus allen seinen chemisch-analytischen Untersuchungen schließt nun Berzelius, daß die Meteorsteine Bergarten sind, gemengt aus mehreren Mineralien in variirenden Verhältnissen. Diese Mineralien sind nun folgende: 1) Gediegenes Eisen, welches zuweilen die Hauptmasse des Niedergefallenen ausmacht. Derartige Meteorsteine zerspringen beim Falle nicht, und bilden daher die größten der bisher gefundenen Meteorsteine; das Eisen darin bildet zuweilen eine dichte Masse, zuweilen gewundene kleinere und größere Theile, so wie Körner, gewöhnlich voller Grübchen und Höhlungen, welche eine Steinmasse umschließen. Das Eisen ist gemengt mit anderen Metallen, hauptsächlich mit Nickel, dessen Quantität nicht beständig zu sein pflegt. In dem übrigen ist eine chemische Verbindung von Eisen und Nickel angeschossen, und da sie sich träger in Säuren löst als das dazwischen befindliche reinere Eisen, so entstehen durch Aetzung die unter dem Namen der Widtmanstädt'schen Figuren bekannten Zeichnungen von diesen Krystallen.

Läßt man eine solche geätzte Oberfläche nach dem Poliren anlaufen, so wird das Eisen dunkelblau und die Nickellegierung brandgelb. 2) Schwefeleisen. 3) Magneteisenstein. 4) Meteorolivin. 5) In Säuren unlösliche Silicate von Talkerde, Kalk, Eisenoxydul, Manganoxydul, Thonerde, Kali und Natron. Die schwarze Rinde auf den Meteorsteinen ist Folge der Schmelzbarkeit ihrer Silicate, welche auch dazu beitragen, den für sich unschmelzbaren Olivin in Fluß zu bringen. 6) Chromeisen. 7) Zinnstein.

Die vollständigste Meteorstein-Analyse, welche wir besitzen, ist von Rammelsberg *). In der Nachbarschaft des Dorfes Klein-Wenden, im Kreise Nordhausen, ist am 16. Sept. 1843 ein 6 Pfd. schwerer Meteorstein bei klarem Wetter und mit heftiger Detonation herabgefallen. Er wurde zusammengesetzt gefunden aus:

Schwefel	2,09
Phosphor.	0,02
Eisen	23,90
Nickel	2,37
Zinn	0,08
Kupfer	0,05
Chromoxyd	0,62
Kieselsäure	33,03
Talkerde	23,64
Eisenoxydul	6,90
Thonerde	3,75
Kalkerde	2,83
Manganoxydul . . .	0,07
Kali	0,38
Natron	0,28
	100,01

Nach der Untersuchung, welche Rammelsberg mit dem Stein als einem Gemenge von Mineralien angestellt hat, ist er gemengt aus:

Nickeleisen	22,904
Chromeisen	1,040
Magnetkies, FeS . . .	5,615
Olivin	38,014
Labrador	12,732
Augit	19,704

und ein jeder dieser Bestandtheile besteht wieder aus:

Das Nickeleisen:

Eisen	88,980
Nickel, kobalthaltig .	10,351
Zinn.	0,349
Kupfer	0,213
Phosphor	0,107

*) Berzelius Jahres-Bericht. Jahrg. 25. S. 396. Poggend. Ann. Bd. LXII. S. 449, vergl. auch in Betreff anderer genauer Analysen: v. Baumhauer in Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 485 ff.

was wohl übereinstimmt mit dem, welches in dem Pallas'schen und in dem Ellbogener Eisen enthalten ist.

Das Chromeisen:

Chromoxyd	59,85
Eisenoxydul	27,93
Talkerde	12,22

Der Magnetkies ist = FeS.

Der Olivin:

Kieselsäure	39,60
Talkerde	47,37
Eisenoxydul	10,72
Manganoxydul . . .	0,19
Kalkerde	2,12

Der Labrador:

Kieselsäure	12,282
Thonerde	9,077
Kalkerde	3,843
Kali	0,921
Natron	0,708
	30,831

Der Augit:

Kieselsäure	54,64
Talkerde	23,69
Eisenoxydul	16,66
Kalkerde	2,01

Was diese beiden letzteren betrifft, welche gemengt zurückbleiben, nachdem der nicht magnetische Theil davon nach der Zersetzung mit Salzsäure ausgezogen worden ist, so ist deren Natur weniger sicher, und er ist zu diesen Resultaten dadurch gekommen, daß er annimmt, daß das in Salzsäure Unlösliche noch 21,63 Proc. Olivin enthalten hat, auf welchen die Säure nicht einzuwirken vermag. Werden die Bestandtheile von diesem Olivin abgezogen, so lassen sich die übrig bleibenden Bestandtheile zu 80,831 Labrador und zu 47,351 Augit zusammenpaaren. Natürlicherweise kann man sich hier auf keine andere Art helfen als mit einer solchen hypothetischen Methode. Aber es ist dabei doch immer möglich, daß das Unlösliche aus Mineralien von anderer Zusammensetzung gemengt sein konnte, zu welchen die Bestandtheile des abgezogenen Olivins wesentlich gehört haben.

Im Allgemeinen haben die chemischen Untersuchungen dahin geführt, daß man Meteoreisen und Meteorsteine zu unterscheiden habe, und von den letzteren zwei Classen, nämlich solche mit Körnern und Flittern von Meteoreisen und solche, welche von metallischen Beimengungen ganz frei sind und sich nur als ein krystallinisches Gemenge verschiedener Mineralsubstanzen darstellen.

Nachdem der Ursprung der Meteorsteine aus den Vulkanen der Erde als unhaltbar erkannt war, trat man mit der Meinung auf, daß sie in der Luft entstanden seien. Wir verweisen auf Ideler (11.), Diruf (12), Freigang (13) und besonders auf Egen *) und bemerken nur noch, daß diese Ansicht immer noch

*) Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 375.

ab und zu ihre Anhänger findet, z. B. J. W. Schmitz *). Man betrachtet als Analogon die Bildung des Hagels und will die Meteorsteine entstehen lassen aus mineralischen Dämpfen, namentlich herrührend von den Hüttenwerken. Man stützt sich hierbei darauf, daß den Bestandtheilen nach die Meteorsteine den irdischen gleichen, und gegen eine andere Ansicht, daß dieselben von anderen Himmelskörpern herrühren könnten, macht man geltend, daß diese in ihrer Dichtigkeit von denselben abweichen. Das Letztere ist indessen nicht von Bedeutung, da die Dichtigkeit der nächsten Planeten von der der Erde nicht so sehr abweicht und man wohl berechtigt sein dürfte, von der nicht sehr verschiedenen Dichtigkeit auch auf eine größere Gleichheit in der Zusammensetzung zu schließen, so daß alle Meteorolithen, welche zwischen den Bahnen des Merkur und des Mars, ja vielleicht bis zu den kleinen Planeten sich bilden, nahe gleiche Bestandtheile haben dürften; was aber die Bildung aus mineralischen Dämpfen in der Atmosphäre betrifft, so ist zu bedenken, daß in den Hüttenwerken und Hohöfen keine Erze geschmolzen werden, welche die Bestandtheile der Meteorsteine in ihrer Verbindung liefern könnten; denn es halten z. B. die Eisenerze keine Nickel, was doch stets in den Meteormassen, welche gediegenes Eisen enthalten, gefunden wird. Ferner würden Eisendämpfe in der Luft schnell verbrennen, wie es beim Schmieden des Eisens der Hammerschlag beweist. Chladni (10. a S. 419) bemerkt:

1) In der Luft sind solche Stoffe, woraus die niederfallenden Massen bestehen, nicht vorhanden.
2) In der großen Höhe, in welcher man die Feuerkugeln schon gebildet gesehen hat und wo die Luft viel dünner ist, als unten, ist nicht genug Stoff zu den Eisenmassen vorhanden, wenn auch alles Ponderable zusammengeballt und durch irgend einen Deus ex machina in Eisen ꝛc. verwandelt würde.
3) Die Bahn ist so beschaffen, daß gleich beim Eintritte in die Atmosphäre ebensowohl Wirkungen einer Wurfkraft als der Schwerkraft bemerkbar sind.
4) Die mehrfach beobachteten Bogensprünge zeigen ganz deutlich, daß ein Körper sich nicht in der Atmosphäre gebildet haben kann.
5) Die Erscheinung ist unabhängig von allem, was auf der Erde und in deren Atmosphäre vorgeht.
6) Das Eisen nebst dem Schwefeleisen würden sich nach Klaproth's **) Bemerkung in feuchten Lufträumen oxydirt haben.

Chladni fügt hinzu: „Wen diese Gründe nicht überzeugen, oder wer etwa die Beobachtungen, worauf sie beruhen, abläugnen wollte, für den würden alle anderen Gründe verloren sein; mit dem muß man auch nicht streiten, sondern ihm seine fixe Idee lassen.“

Berzelius erinnert daran, daß wir weder wissen, ob die Bestandtheile der Meteorsteine in Luftform existiren können, noch ob sie aus den gewöhnlichen Bestandtheilen der Luft zusammengesetzt sind, und überdies hätten mehrere Meteorsteine eine so große Masse gehabt, daß ihre Bildung in der Atmosphäre unmöglich in der kurzen Zeit des Falles durch die Luft vor sich gehen konnte, besonders da

---

*) Der kleine Kosmus, Köln 1852 und: Ansicht der Natur, Köln 1853.
**) Beiträge zur chemischen Kenntniß der Mineralkörper. Bd. V. S. 306.

nothwendigerweise der Fall schon bei Absetzung des ersten festen Theilchens hätte beginnen müssen.

Eine dritte Ansicht über den Ursprung der Meteorsteine ist die, daß sie Auswürflinge der Mondvulkane seien, weshalb man dieselben auch Mondsteine genannt hat. Olbers *) äußerte im Jahre 1795 in einem Berichte über den am 16. Juli 1794 zu Siena in Italien geschehenen Meteorsteinfall die Idee, daß dergleichen Steine vom Monde ausgeworfen sein könnten, hielt es aber damals doch für wahrscheinlicher, daß sie aus dem Vesuv herstammten. Im Jahre 1802 sprach Laplace **), auf Veranlassung der Arbeit von Howard, dieselbe Idee aus, mit dem Zusatze, die Feuererscheinung entspringe aus der Zusammendrückung der Luft in Folge der unendlichen Geschwindigkeit, mit welcher der Meteorstein in die Atmosphäre eindringe, welche aber durch den Widerstand der Luft so verringert werde, daß der Fall zuletzt nur mit der gewöhnlichen Fallgeschwindigkeit geschehe. — Die uns zugewandte Seite des Mondes ist voller Höhen und darunter finden sich viele Berge, die den mit Kratern versehenen Vulkanen unserer Erde ganz ähnlich gebildet sind, und dabei so große Dimensionen haben, daß man mit guten Fernröhren in die Krater sehen und sehr wohl unterscheiden kann, daß die eine Hälfte der Innenseite von der Sonne beleuchtet und die andere beschattet ist, während der Ring, welcher den Krater bildet, hervorsteht. Dies läßt vermuthen, daß diese Berge ihre Form durch dieselbe Ursache wie die auf der Erde erhalten haben, d. h. durch Eruptionen. Wenn aber die Kraft, welche auf dem Monde Eruptionen hervorbringt, eben so groß ist als die Wurfkraft der irdischen Vulkane, so müssen sich die geworfenen Körper bedeutend weiter von dem Monde entfernen als von der Erde; denn erstlich ist die Masse des Mondes nur 1,45 Procent von der der Erde, und damit steht auch die Schwere auf dem Mond im Verhältniß; zweitens hat der Mond keinen Luftkreis oder wenigstens einen so lockern, daß bei Fixsternbedeckungen durch den Mond keine Strahlenbrechung darin wahrnehmbar ist. Der Auswurf geschieht folglich in einen luftleeren Raum, ohne einen solchen mechanischen Widerstand für die Bewegung der geworfenen Körper, wie ihn die Atmosphäre der Erde darbietet, wo der Körper daher bald zur Ruhe kommt. Wenn drittens der Auswurf gegen die Erde gerichtet ist, so nimmt die Anziehung der Erde zu dem geworfenen Körper beständig zu, während die des Mondes stetig abnimmt. Und viertens liegt die Gleichgewichtsgrenze zwischen der Erde und dem Monde bedeutend näher an letzterem. Biot ***) giebt an, daß eine Wurfkraft von 7771 Pariser Fuß in der Secunde diese Grenze erreiche; mit einem geringen Kraftüberschusse wird der Körper dieselbe übersteigen und dann auf die Erde fallen müssen. Diese Geschwindigkeit ist fünf bis sechs Mal größer, als die einer 24pfündigen Kanonenkugel beim Austritt aus der Kanone, und wird von der Wurfkraft unserer Vulkane übertroffen. Die Berechnungen, welche sowohl Olbers als Poisson ****) hierüber angestellt haben, zeigen, daß die Idee eine physische Möglichkeit einschließe. — Verschiedene Umstände bei den Meteorsteinen passen wohl zu dem, was wir glauben von dem Monde zu wissen. Die Meteorsteine sind durchsetzt mit

*) Gilb. Ann. Bd. XIV. S. 38, ausführlich in: Monat. Corresp. Th. 7. S. 149.

**) Monat. Corresp. Th VI. S. 277. aus Bulletin de la Soc. philom. No. 66 u. 68.

***) Gilb. Ann. Bd. XIII. S. 358.

****) Gilb Ann. Bd. XV. S. 329.

metallischem Eisen, welches, wenn der Stein mit lufthaltigem Wasser befeuchtet wird, allmälig zu Eisenoxydhydrat rostet, wie es unter gleichen Umständen mit den Mineralien der Erdkruste der Fall ist. In ihrer ursprünglichen Lagerstätte mangelt also Luft, oder beides, Luft und Wasser. Auch haben astronomische Untersuchungen keine Spur von so großen Wasseransammlungen auf dem Monde gefunden, daß sie mit guten Fernröhren zu entdecken wären. Ich weiß nicht, daß man in den Meteorsteinen chemisch gebundenes Wasser gefunden habe. — Sehr genaue chemische Untersuchungen (von Berzelius) haben gezeigt, daß die meisten Meteorsteine einander in der Zusammensetzung so ähnlich sind, daß man sie als von demselben Berg herrührend ansehen kann, während nur wenige von abweichender Beschaffenheit gefunden wurden. So weit es zuläßig ist, aus den Verhältnissen auf der Erde einen Schluß zu ziehen, kann man die übrigen Weltkörper auch gar nicht als homogene Gemenge von Mineralien ansehen, vielmehr hat die Geschichte ihrer ursprünglichen Bildung sicher viele Aehnlichkeit mit der Geschichte der der Erde. Die Felsarten aus verschiedenen Gegenden eines anderen Weltkörpers werden also in der Zusammensetzung verschieden sein können. — Der Mond kehrt der Erde beständig dieselbe Seite zu. Der Mittelpunkt seiner sichtbaren Scheibe macht folglich deren beständig uns zugewandten Gipfel aus, dessen Eruptionen ihre Projectile am leichtesten über die Gleichgewichtslinie hinauswerfen, und folglich müssen die auf die Erde fallenden Meteorsteine, angenommen, daß sie vom Monde kommen, in größter Zahl von hier ab ausgeworfen worden sein. Sie können folglich einem ganz beschränkten Gebirgszuge angehören, und dann läßt sich ihre große Gleichheit im Ansehen und in der Zusammensetzung leicht begreifen. Die Auswürflinge von Eruptionen, welche seitwärts dieses Gipfels geschehen, fliegen in einer nicht mehr direct gegen die Erde gerichteten Linie fort, und müssen also seltener in den Anziehungskreis der Erde gelangen. Wenn die Bergarten dieser Gegenden verschieden sind von denen auf dem Gipfel der uns zugewandten Mondshälfte, so sieht man leicht ein, daß uns von daher Meteorsteine von anderer als der gewöhnlichen Beschaffenheit zukommen müssen, zugleich aber auch, daß dies vergleichsweise selten geschehen müsse. Darf man annehmen, daß der uns zugewandte Mondscheitel so mit Nickeleisen durchsetzt ist, als es die Meteorsteine sind, und daß die übrigen Theile, oder wenigstens die beständig von der Erde abgewandte Halbkugel, wenig oder gar nichts davon enthalten, so würde daraus folgen, daß der Mond, wenn auf ihn die Erde, außer ihrer allgemeinen, von der Schwere herrührenden Anziehung, noch eine magnetische Anziehung ausübte, den eisenreichsten Theil seiner Kugel gegen die Erde wenden müsse, und daß daraus die wunderbare Erscheinung entstehe, daß der Mond uns unverwandt die nämliche Seite zukehrt.

Nur einige der Einwände gegen diese Hypothese wollen wir erwähnen. Die Berge auf dem Monde sind entweder gar keine Vulkane, denn es fehlen alle Bedingungen derselben, wie wir sie auf der Erde nöthig finden, oder sie sind wenigstens nicht mehr in Thätigkeit. So heftige Ausbrüche würden uns nicht verborgen bleiben bei der Vollkommenheit unserer Fernröhre. Aber selbst wenn die Meteorsteine von dem Monde ausgeworfen würden, so könnten doch nur wenige von ihnen auf die Erde fallen, bei weitem die Mehrzahl gelangte nicht auf dieselbe und diese müßten sich in den verschiedensten Bahnen um die Erde bewegen, und da demnach die Anzahl der Meteorsteinfälle keine geringe ist, so würde der Mond an Masse verlieren, was sicher den Astronomen in der veränderten Anziehung desselben nicht

entgangen sein würde. — Der ausführlichste Vertheidiger des lunarischen Ursprungs ist Ende (5), dann ist Benzenberg (15) zu erwähnen und besonders mit Rücksicht auf den chemischen Theil der Frage Berzelius *). — Von den Gegnern dieser, unter allen am wenigsten haltbaren, Hypothese wird es genügen nur einen anzuführen: es ist dies v. Hoff **).

Nach der vierten Hypothese sind die Meteorsteine und meteorischen Eisenmassen kosmischen Ursprungs. Chladni ***) ist als der erste zu betrachten, welcher diese Ansicht aufstellte und standhaft und nicht ohne Erfolg vertheidigte. Er stützt sich zunächst auf die große Höhe, in welcher man die Feuerkugeln beobachtet hat. Schon bei einer Höhe von 8 Meilen wäre der atmosphärische Ursprung undenkbar, da in dieser Höhe zur Bildung eines Steins von 10 bis 20 Pfd. Tausende von Cubikmeilen der Luft nöthig sein würden. Die anfänglich fast horizontale, später nahe parabolische Bahn ist ferner ein Grund dafür, daß eine ursprüngliche Bewegung im Weltenraume durch die Attraction der Erde modificirt wird. Die Bogensprünge und rückgehenden Bewegungen mancher Feuerkugeln erklärt Chladni durch das schräge Auftreffen auf die Atmosphäre, von welcher sie dann zurückgeworfen würden. Ein Hauptgrund ist die große Geschwindigkeit, die, wie wir oben gesehen haben, selbst bis auf $23^1/_4$ Meile beobachtet worden ist, während unsere Erde im Mittel nur eine solche von wenig über 4 Meilen besitzt. Diese Punkte weisen Chladni auf die Gegenden jenseits unserer Atmosphäre hin, und da findet er zwei Möglichkeiten: entweder sind die Meteormassen alte Gebilde, oder sie sind erst kurz vor ihrem Niederfallen aus kosmischer Urmaterie entstanden. Für letztere Ansicht entscheidet sich Chladni.

Sind die Meteormassen alte Gebilde, so beschreiben sie als kometenartige kleine Körper ihre eigene Bahn, oder sie sind Bruchstücke eines zersprengten Weltenkörpers und beschreiben nun ebenfalls selbstständige Bahnen in Folge des Stoßes beim Zersprengen und der allgemeinen Gravitation. Die Möglichkeit des letzteren Falles ist gegeben in der historischen Thatsache des Verlöschens und Verschwindens heller Sterne; die Gewißheit haben wir in Planetoiden, von denen am 5. Mai 1853 bereits der sechsundzwanzigste entdeckt wurde, und die nun keinen Zweifel darüber lassen, daß in der That zwischen Mars und Jupiter ein größerer Planet zersprengt worden ist. Bei diesem Zersprengen muß eine unendliche Menge kleiner Stücke umhergeschleudert worden sein und zwar auch in Richtungen, daß sie um die Sonne abnehmende Bahnen beschreiben, wodurch sie dann leicht auf ihrem Wege in die Attractionssphäre anderer Planeten gerathen und auf sie niederfallen können. Chladni, welchem damals dieses Beispiel noch nicht zu Gebote stand, bezieht sich auf Lagrange ****), welcher die Möglichkeit des Vorhandenseins von Kräften beweist, durch welche ein Planet so zersprengt werden könne, daß seine Theile in abgesonderten Bahnen um die Sonne liefen. Die Meteorsteine könnten mithin Bruchstücke eines zersprengten Planeten sein. Als Olbers *****) zuerst diese

---

*) Poggend. Ann. Bd. XXXIII. S. 1 u. 113.

**) Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 351.

***) Vergl. Nr. 9 u. 10, außerdem Gilb. Ann. Bd. XIII. S. 350; Bd. XV. S. 319; Bd. XIX. S. 257; Bd. 75. S. 247; Schweigger's Journ. Th. XI. S. 418.

****) Monat. Corresp. Th. XXV. S. 558.

*****) Monat. Corresp. Th. VI. S. 88 u. 313.

Ansicht über die Planetoiden äußerte, und mit ihnen die Meteorsteine in Verbindung brachte, machte Chladni geltend, daß dieselben zersprengten Felsstücken nicht glichen und blieb bei der anderen Ansicht. Ein Uebelstand ist von größerer Bedeutung, als dieser Einwand Chladni's, nämlich, woher kommt die hohe Temperatur, welche, wie einige Feuerkugeln, die erst kugelförmig waren, dann birnförmig oder elliptisch geschweift wurden, beweisen, bis zum Schmelzen gehen kann? Man war der Meinung, daß diese Erhitzung eine Folge der Luftcompression sei und stützte sich hierbei auf das bekannte pneumatische Feuerzeug; wie ist aber eine solche Erhitzung in den großen Höhen, in welchen man Feuerkugeln leuchtend gesehen hat, durch Compression möglich, da hier die Luft, wenn sie überhaupt bis dahin reicht, unendlich dünn ist? Aber auch abgesehen hiervon, kann die Compression dies nicht bewirken, denn Erman *) brachte ein Blättchen so leicht schmelzenden Rose'schen Gemisches in ein pneumatisches Feuerzeug und es zeigte sich keine Spur von Schmelzung. Parrot **) zeigte, daß sich heftig geschwungene Kanonenkugeln und selbst abgeschossene nicht erhitzen. Die Erhitzung müßte mithin eine ursprüngliche sein; aber aus Bischof's Abkühlungsversuchen an Basalt ***) ergiebt sich, daß ein Meteorstein, welcher nur 1 Jahr lang im Weltenraume sich herumbewegte, mindestens 855 Fuß Durchmesser haben müßte, wenn er noch glühend zur Erde kommen sollte. Nun hat man zwar Massen von 35000 Pfd. in Mexico, von 100000 Pfd. in La Plata gefunden, will sie gar bis zu 2710 Fuß Durchmesser beobachtet haben; wie steht es aber mit den kleinen Massen aus? Ueberdies da kein Stein eiskalt niedergefallen ist, so können die Meteormassen auch nicht viele Jahre, um nicht zu sagen Jahrtausende lang im kalten Weltenraume fertig gekreist haben. Dieser Einwand läßt sich nicht machen, wenn wir annehmen, daß die Meteormassen aus kosmischer Materie entstehen.

Es ist schon von v. Hoff ****) bemerkt worden, daß das Plötzliche der Erscheinung, das Leuchten, die Explosion, die ungeheure Ausdehnung der feurigen Masse im Vergleich mit dem geringen herabfallenden Producte, das krystallinische Gefüge des letzteren, die begleitenden Wölkchen und Lichtstreifen 2c. mehr auf Bildung eines neuen Körpers, als auf das Herabfallen eines schon gebildeten deuten. Nach v. Hoff ist nun eine Urmaterie nicht unwahrscheinlich, wie ja auch Herschel *****) eine solche annimmt, eine Idee, die auch Kant aus philosophischen Gründen vertheidigte. Aus dieser könnten auch jetzt noch feste Stoffe gebildet werden. Von denen, welche dieser Ansicht beistimmen, führen wir Muncke †) an, auch G. Bischoff ††) vertheidigt sie und bringt manche neuen Momente zu ihrer Begründung; ebenso kämpft v. Baumhauer †††) für diese Ansicht. Die Hitze und das hierdurch erzeugte Leuchten wäre anzusehen als eine Folge des Chemismus. Feuerkugeln und Sternschnuppen müßten wir uns, wie die Kometen-

*) Gilb. Ann. Bd. XVIII. S. 240.
**) Gilb. Ann. Bd. XIX. S. 244.
***) Wärmelehre. 1837. S. 443.
****) Poggend. Ann. Bd. XXXVI. S. 178.
*****) Gilb. Ann. Bd. LXXV. S. 250.
†) Gehler's Wörterb. N. A. Bd. VI. Art. Meteorsteine.
††) Populäre Briefe oder Unterhaltungen über Gegenstände aus dem Gebiete der Physik u. s. w.
†††) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 465 ff.

massen, als sehr locker, in Gestalt bloßer Lichtstreifen, auf jeden Fall als eine dünne, glühende und leuchtende Masse in unserer Atmosphäre ankommend denken. Findet die Wärme dieser Meteore in der Atmosphäre andere ponderable Masse, welcher sie sich mittheilen kann, so verläßt sie jene, die Grundlage derselben sintert in Folge ihrer Anziehung bei abnehmender Repulsion in Folge des Verlustes von Wärme zusammen und bildet die Meteorsteine. Wegen der leichten Beweglichkeit beim Schweben in freiem Raume entsteht ein krystallinisches Gefüge, eine vollständige Oxydation ist aber wegen Mangels an hinlänglichem Sauerstoffe nicht möglich und blos die Oberfläche erleidet eine Schmelzung und geringe Oxydation, deren Folge die Rinde ist. Das Zerspringen der Meteorsteine in mehrere Stücke rührt von der durch Erkaltung bewirkten ungleichförmigen Zusammenziehung her, wie man solches in Eisengießereien öfters beobachtet hat. Je schneller ein erhitzter Körper sich in der Luft bewegt, desto schneller erkaltet er; wenn nun auch an der Stoßseite eine Erwärmung durch Zusammendrückung eintreten sollte, so findet dies doch nicht an der Leeseite statt; an dieser wäre sogar eine Verdünnung, mithin eine Abkühlung zu erwarten. Nimmt man nun auch eine Drehung des Körpers an, so bleibt doch eine ungleiche Einwirkung und somit auch die Bedingung, durch welche das Zerplatzen herbeigeführt werden kann. Zur Erklärung der heftigen Detonation bietet die Chemie, z. B. beim Verbrennen des Knallgases, hinreichende Belege.

v. Baumhauer*) macht vorzugsweise auf eine merkwürdige Erscheinung aufmerksam, die durch keine der anderen Theorien befriedigend erklärt wird. Die meisten Aerolithen haben im Anfange ihrer Erscheinung die Größe des Mondes, bisweilen scheinen dieselben noch größer, so daß sie, wenn man ihre Entfernung berücksichtigt, die Größe von einer bis zwei Cubikmeilen haben müssen, und wie groß sind die Meteorsteine, welche wir auf unsere Erde fallen sehen? meistens nur einige Cubikzoll, und der größte einen Cubikfuß. Welchem Umstande ist die Abnahme der Größe zuzuschreiben? — Die Meteorsteine sind, bevor sie in unsere Atmosphäre gelangen, von einem Nebel nicht condensirter Urmaterie umgeben, welche Materie wahrscheinlich alle die Elemente, aus welchen der Stein besteht, noch im isolirten Zustande enthält, die dann, wenn sie in unsere Atmosphäre kommen, mit einander verbunden werden, und so das starke Licht erzeugen; es kann auch sein, daß der Nebel aus noch nicht oxydirten Elementen besteht, welche durch den Sauerstoff unserer Atmosphäre oxydirt und in der Atmosphäre verbreitet werden. Hieraus lassen sich die verschiedenen Lichtfarben, welche man beobachtet, erklären; wir wissen ja, daß geschmolzenes Eisen und brennender Phosphor weiß, brennender Schwefel und Nickel blau, brennendes Kupfer grün, brennender Kalk roth und brennendes Natron gelb leuchten. Es erhellt zugleich, daß das Licht der Feuerkugeln stärker sein muß, als das des Mondes, da uns dieser nur reflectirtes, jene aber eigenes Licht zusenden.

Könnte somit unter den vier Hypothesen: der vulkanischen, terrestrischen, lunarischen und kosmischen, die letztere als die wahrscheinlichste sich geltend machen, so wird die Sache doch wieder zweifelhaft durch die neueren Resultate der Beobachtungen auf diesem Gebiete. Sobald man anfing periodische Sternschnuppenfälle zu beobachten und also in bestimmten Nächten auf ihre Erscheinung zu harren,

*) A. a. O. S. 483.

wurde bemerkt, daß die Häufigkeit der Meteore mit dem Abstande von Mitternacht zunahm, daß die meisten zwischen 2 und 5 Uhr Morgens fielen *). Es ist schwer die Ursache einer solchen stündlichen Variation, einen Einfluß des Abstandes von dem Mitternachtspunkte zu errathen. v. Humboldt sagt: „Wenn unter verschiedenen Meridianen die Sternschnuppen erst in einer bestimmten Frühstunde vorzugsweise sichtbar werden, so müßte man bei einem kosmischen Ursprunge annehmen, was doch wenig wahrscheinlich ist: daß diese Nacht- oder vielmehr Frühmorgen-Stunden vorzüglich zur Entzündung der Sternschnuppen geeignet seien, während in anderen Nachtstunden mehr Sternschnuppen vor Mitternacht unsichtbar vorübergehen. Wir müssen noch lange mit Ausdauer Beobachtungen sammeln."

Hierzu kommt noch ein Resultat, welches v. Ehrenberg **) durch seine mikroskopischen Forschungen gewonnen hat. Nach ihm trägt ein einzelnes Passatstaub-Meteor oft Tausende und Hunderttausende von Centnern fester Masse mit 7 bis 14 Procent Eisen, 37 Proc. Kieselerde, 16 Proc. Thonerde. Hierdurch scheint die der terrestrischen Hypothese entgegenstehende Schwierigkeit, wie soviel feste Masse in der Atmosphäre schwebend und schnell vereint zu denken sei, als zu einem einzigen Meteorsteine von einem Centner gehört, beseitigt zu sein. Alle bekannten Meteorsteinfälle zusammengenommen sind hiernach eine unbedeutende Kleinigkeit von Masse gegen das Mögliche der Atmosphäre. Das bisher im Meteorstaube vermißte Nickel, worauf bei der kosmischen Ansicht ein besonderes Gewicht gelegt wird, ist von v. Ehrenberg ebenfalls nachgewiesen, und zwar in ausreichender Menge, um das kohlen- und nickelhaltige Schwefeleisen zu erklären.

Die Egen'sche Hypothese hätte somit eine andere Stütze gewonnen; indessen wie sind hiermit die bedeutenden Höhen und die großen Geschwindigkeiten in Einklang zu bringen, welche man beobachtet zu haben glaubt? Wie soll ferner die erwiesene Periodicität der Sternschnuppen ihre Erklärung erhalten?

Wir können also noch nicht behaupten, daß der Schleier über dies interessante Phänomen gelüftet sei; vielleicht, daß man einen doppelten Ursprung der Feuermeteore annehmen muß, einen kosmischen und einen terrestrischen.

Am Schluß dieses Artikels muß endlich noch erwähnt werden, daß man früher meistens annahm, die Sternschnuppen beständen aus schleimigen Massen, welche zur Oberfläche der Erde herabkämen. Bei der Schilderung des großen Sternschnuppenfalles von 1833 sind derartige Beobachtungen erwähnt worden. Chladni (10. a S. 89) führt mehrere solche Behauptungen auf. In vielen Fällen hat man die Tremella nostoc, welche an Flüssen häufig vorkommt, für diese Substanz erkannt. Nach Berzelius ***) mochten diese Substanzen vielleicht schon früher vorhanden gewesen, aber erst vermöge ihrer hygroskopischen Eigenschaft während der Nacht stark aufgeschwollen sein. Brandes ****) machte es in einigen Fällen sehr wahrscheinlich, daß die Masse der durch Wasser stark aufgequollene Laich einer Schnecke sei. Nach Fothergill (11. S. 24) ist diese Substanz das halb-

*) Vergl. Humboldt, Kosmus. Bd. III. S. 612 u. Coulvier-Gravier sur la variation horaire des étoiles filantes. L'Instit. Mai 1845.

**) Passatstaub und Blutregen von v. Ehrenberg 1849.

***) Gilb. Ann. Bd. VI. S. 232.

****) Schweigger's Jahrb. N. R. Bd. XIX. S. 394.

verweste Aas von Kröten oder Fröschen. Pennant glaubt, diese gallertartige Masse verdanke ihren Ursprung der Wintermöve oder ähnlichen Vögeln, und sei weiter nichts als der halbverdauete Ueberrest von Regenwürmern, von denen diese Thiere sich nähren und welche sie dann wieder aus dem Magen von sich geben, was Fothergill indessen bestreitet. Ideler hält diese Massen für Niederschläge der in der Atmosphäre befindlichen mineralischen und vegetabilischen Stoffe. Poggendorf (Bd. XXXIII.) bemerkt, es sei schwer zu sagen, was davon zu halten, doch scheine es ihm zu voreilig, über diesen Gegenstand unbedingt abzusprechen.

Endlich mag hier noch eine nähere Angabe über die v. Widmanstädten'schen Figuren, welche oben beiläufig erwähnt wurden, eine Stelle finden.

Das meteorische Eisen zeigt ein eigenthümliches Gefüge, welches v. Schreibers (10. b. S. 70. Taf. 8 u. 9) und v. Widmanstädten (1808) in demselben entdeckt haben. Werden Stücke solcher Massen geschliffen, so kommen beim Anfangen des Polirens dem blosen Auge nur bei schräg auffallendem Lichte kaum sichtbare Streifen von größerer und geringerer Breite zum Vorschein, die größtentheils geradlinig und in verschiedenen Winkeln sich durchkreuzend, einige aber auch krummlinig hinlaufen. Läßt man ein solches Stück nach vollendeter Politur, wodurch sie dem Auge verschwinden, durch Hitze anlaufen, so erscheinen die erwähnten Streifen in verschiedenen Farben. Vollkommen sichtbar aber wird dies Gefüge, wenn man die eben geschliffene und ganz horizontal gestellte Fläche mit Wachs einfaßt, mit durch 2 oder 3 Theile Wasser verdünnter Salpetersäure übergießt und diese einige Zeit auf das Metall einwirken läßt. Hat die Säure nur kurze Zeit eingewirkt, so erscheinen die Streifen matt und von sehr lichtstahlgrauer Farbe, die Figuren oder Zwischenfelder dagegen, welche von ihnen begrenzt und eingeschlossen werden, zwar ebenfalls matt, aber dennoch bei schiefer Richtung der Flächen mit einigem Scheine von ihrem Rande her und von ziemlich dunkler eisengrauer Farbe; die Ränder von beiden endlich sind von einer gemeinschaftlichen zarten Linie eingefaßt, die aber ebenfalls nur bei schräger Richtung und bei Wendungen deutlich sichtbar wird und sich dann durch eine silberweiße Farbe und durch einen starken spiegelnden Glanz auszeichnet. In größeren und kleineren Klüften und in zarten, oft sehr feinen Rissen, aber auch häufig zerstreut eingemengt, oft auch nur als einzelne Körner in die übrige Metallmasse eingesprengt, erscheint eine andere metallische Substanz von ziemlich starkem Glanze und silberweißer oder zinkgrauer, bisweilen etwas ins Gelbliche oder Röthliche ziehender Farbe, auf welche die Säure schon etwas weniger als auf die übrige Oberfläche eingewirkt zu haben scheint. Wird die Aetzung durch Säure längere Zeit fortgesetzt, so erscheinen die einzelnen Theile des Gefüges nicht nur immer deutlicher, sondern in verschiedenem Grade vertieft; die Streifen nämlich sind am tiefsten, die Zwischenfelder etwas weniger tief, deren Einfassungslinien aber und die Massen jener bröcklig-körnigen Substanz am erhabensten. Ist die Aetzung hinreichend lange fortgesetzt, so kann die ganze Zeichnung mittelst der Druckerschwärze abgedruckt werden. H. E.

Feuerspritze, s. Spritze.

Feuerstein. — Feuerstein ist eine Varietät des Quarzes, welche eine vollkommen amorphe Masse bildet von mattem, muschligem Bruche, rauchgrauer bis schwarzer Farbe; zuweilen auch gefleckt, gestreift ꝛc. Die Bruchstücke sind scharfkantig und an den Kanten durchscheinend. Er enthält fast immer sehr geringe

Mengen fremder Substanzen, als Kali, Kalk, Thonerde, Eisenoxyd. Klaproth fand in einem Feuerstein von rauchgrauer Farbe: 98,00 Kieselerde, 0,50 Thonerde, 0,25 Eisenoxyd und 1,00 flüchtige Theile. Berzelius fand in einem Feuerstein aus dem Kreidelager von Limhamm in Schonen 0,117 Kali, 0,113 Kalk nebst Spuren von Thonerde und Eisenoxyd und einen sehr geringen kohlehaltigen, vollkommen flüchtigen Rückstand. Die Feuersteine finden sich vorzüglich im Kreidegebirge: (Rügen, Jütland, England, Frankreich), in welchem sie in nicht mächtigen Lagern oder auch in knolligen Stücken vorkommen. Sehr häufig sind sie als Geschiebe anzutreffen, von zerstörten Kreidefelsen herrührend, aber selten als Gangmasse (Umgegend von Freiberg). Viele Versteinerungen aus dem Thier- und Pflanzenreiche bestehen aus Feuerstein (z. B. viele Echiniten). Ehrenberg's Untersuchungen zeigen, daß sehr viele Feuersteine als ein Conglomerat von fossilen Infusionsthierchen angesehen werden können, welche durch ein kieseliges Bindemittel zusammengekittet sind. — Die Feuersteine sind größtentheils durch langsame Erhärtung von Kieselgallerte entstanden; die Krystallisation der Kieselerde konnte meist nicht stattfinden, denn nur selten enthalten die Steine im Innern Drusen von Quarzkrystallen. Die Hauptmasse derselben bildet amorphe Kieselerde, welche in Aetzkali auflöslich ist. Es ist übrigens möglich, daß an verschiedenen Punkten der Erde die Feuersteinbildung noch vor sich geht. — Der Gebrauch des Feuersteins ist bekannt. Um ihn in brauchbarer Form zu erhalten, wird er gespalten. H. Rt.

Feuerzeug nennt man jede Vorrichtung zu schneller Hervorbringung von Feuer, in dem ein leicht entzündlicher Körper zum Glühen oder zum hellen Brennen gebracht wird. Da überhaupt der Verbrennungsproceß auf sehr vielfache Weise eingeleitet werden kann, und es viele leicht entzündliche Stoffe giebt, so ist auch, zumal bei den Fortschritten der Physik und Chemie in der neuesten Zeit, die Zahl der verschiedenen Feuerzeuge sehr groß, so daß hier nur auf die gebräuchlichsten eingegangen werden kann.

1) Feuerzeug mit Stahl und Stein. Die Funken, welche durch das Herunterschlagen des Stahles am Steine entstehen, sind (wie die Betrachtung durch das Mikroskop lehrt, wenn man sie auf einem untergelegten Papiere auffängt) Stückchen Stahl, welche durch die bei der heftigen Reibung erregten Hitze glühend geworden, zuweilen mit Theilchen des Steines zusammengeschmolzen oder verschlackt sind. Sie erscheinen unter dem Mikroskope als kleine Kügelchen oder in der Form von Locken. Da sie sich beim Abspringen vom Stahle sehr schnell bewegen, so erscheint der von ihnen zurückgelegte Weg einen Augenblick leuchtend, so daß sich die Funken als Fäden von einiger Länge darstellen. Der leicht entzündliche Fangschwamm oder irgend ein anderer leicht entzündlicher Stoff (faules Holz, verkohlte Leinwand, Pulver) beginnt durch die auf ihn fallenden glühenden Stahltheilchen zu glimmen.

Der Feuerstein, dessen man sich gewöhnlich bedient, ist eine Quarzart und besteht im Wesentlichen aus Kieselerde; der Feuerstahl ist ein gehärtetes Stahlstück; der Feuerschamm, um von den gebräuchlichen Zündstoffen wenigstens diesen hier nicht unberührt zu lassen, wird aus einem an alten Eichen-, Buchen- und anderen Baumstämmen wachsendem Schwamme (Boletus igniarius) bereitet. Im August und September sammelt man die Schwämme, zieht die

schwarze Oberhaut mit einem Messer ab und entfernt eben so die unteren, holzigen Theile. Die so gewonnene bräunlichgelbe Schwammmasse trocknet man hierauf und lockert sie dann durch Klopfen auf. Durch Kochen in einer Salpeterlösung wird die Fähigkeit Feuer zu fangen wesentlich erhöht.

Daß Feueranmachen mit Stahl und Stein hat man für die Küche dadurch bequemer zu machen gesucht, daß man das ganze Feuerzeug in ein Flintenschloß verwandelt hat, in dessen Pfanne sich der Zunder befindet.

2) Chemisches Feuerzeug. Dies Feuerzeug besteht aus einem Fläschchen, in welchem sich Schwefelsäure befindet, und Zündhölzchen, welche mit der Säure in Berührung gebracht, sich sogleich entzünden. — Die Bereitung der Zündhölzchen ist folgende. Nachdem die Hölzchen (von einem leicht brennbaren Holze: Zitterpappel oder Birke) die gehörige Form erhalten haben, taucht man sie in Packeten von 2 bis 3000 Stück mit dem einen Ende in flüssigen Schwefel. Hierauf wird *) aus 30 Theilen Schwefelblumen, 4 Th. Zinnober, 4 Th. arabischem Gummi, 3 Th. Traganth und 3 Th. Kolophonium oder Benzoe, von denen jedes fein gerieben ist, ein Brei mit etwas Wasser gerührt, und zu diesem noch 21 Th. fein geriebenes chlorsaures Kali zugesetzt. — (Diese Stoffe trocken zu reiben, ist wegen leichtmöglicher Entzündung und Explosion gefährlich; das chlorsaure Kali muß jedenfalls für sich allein gerieben werden). — In den erhaltenen Brei werden die Schwefelhölzer nur mit ihrer Spitze eingetaucht, so daß der an ihnen sitzende Schwefel einige Linien lang ganz frei bleibt; hierauf läßt man die Hölzchen trocknen.

Bringt man ein so präparirtes Hölzchen mit der Spitze in Berührung mit concentrirter Schwefelsäure, ohne den freien Schwefel zu benetzen, so erfolgt eine Zersetzung des chlorsauren Kali's; durch die hierbei freiwerdende Wärme entsteht eine Entzündung des Schwefels und diese theilt sich dem Holze mit.

Um das zu tiefe Eintauchen des Hölzchens zu verhüten, zumal eine sehr geringe Quantität Schwefelsäure zur Zersetzung des chlorsauren Kali's ausreichend ist, pflegt man das zum Schwefelsäurebehälter zu benutzende Fläschchen nicht unmittelbar mit der Säure zu füllen, sondern bringt erst fein gefaserten Asbest (Federalaun) in dasselbe und benetzt diesen mit einigen Tropfen concentirter Schwefelsäure. Ist die Schwefelsäure verbraucht, so ist das Feuerzeug unbrauchbar, und man gießt dann wieder einige Tropfen nach; dasselbe geschieht aber auch, wenn die Säure aus der Luft zuviel Wasser angezogen hat, wodurch eine ganz neue Füllung nöthig wird. Um das Verderben der Säure durch die atmosphärische Feuchtigkeit zu hindern, ist es zweckmäßig das Fläschchen durch einen eingeriebenen Glaspfropfen zu verschließen.

Zur Anfertigung der Hölzchen bedient man sich in neuerer Zeit besonderer Maschinen, mit deren Hülfe in kurzer Zeit eine große Anzahl geliefert werden kann. Auch benutzt man statt der Hölzchen sehr dünnen Wachsstock.

3) Phosphorfeuerzeug. Da dasselbe jetzt fast außer Gebrauch gekommen ist, so möge von den verschiedenen Arten, den leicht entzündlichen Phosphor zum Feueranmachen zu benutzen, nur folgende eine Stelle finden.

Man bringt etwas trockenen Phosphor in ein Fläschchen mit etwas engem Halse und gut eingeriebenen Glasstöpsel. Das Fläschchen wird im Sandbade

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. XVIII. S. 221.

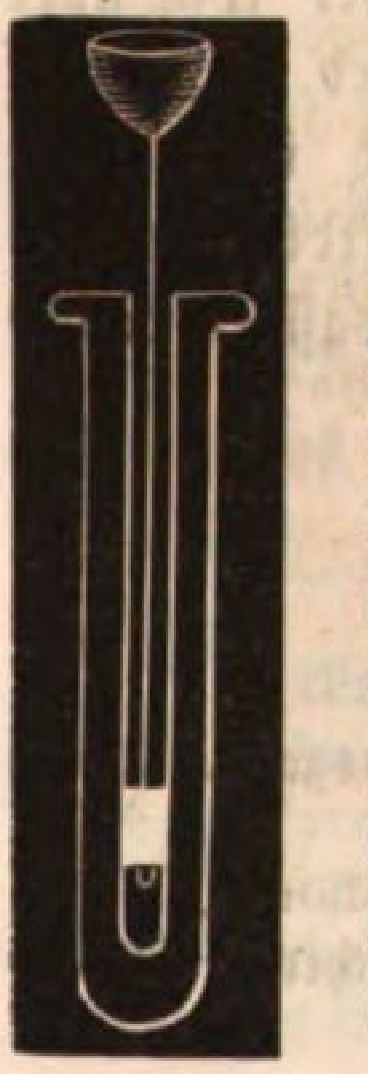
bei unverschlossener Oeffnung etwas erhitzt, so daß der Phosphor nicht blos schmilzt, sondern zu brennen anfängt. Der Phosphor verlischt bald von selbst, und dann verschließt man das Fläschchen mit dem Stöpsel. Berührt man die Masse mit einem Schwefelhölzchen, so entzündet sich dasselbe, zumal wenn man es etwas angefeuchtet hat. In den Fläschchen hat sich nämlich wasserfreie phosphorige Säure und Phosphoroxyd gebildet, außerdem ist noch unverbrannter Phosphor vorhanden und zwar in sehr fein zertheiltem Zustande. Reibt man nun mit dem Schwefelhölzchen ein wenig von dem Inhalte der Flasche ab, so zieht die wasserfreie phosphorige Säure aus der Luft Sauerstoff und Wasser an; hierdurch wird viel Wärme frei, so daß der noch unverbrannte Phosphor sich und den Schwefel entzündet.

Da die Wirkung namentlich auf der phosphorigen Säure beruht, so muß das Fläschchen stets gut verschlossen sein; man thut daher gut, wenn man den Glasstöpsel mit Talg bestreicht.

4) Das pneumatische Feuerzeug (v. d. griech. πνεῦμα, Luft) oder Tachopyrion (v. d. griech. ταχύς, schnell und πῦρ Feuer) ist eine Vorrichtung, bei welcher durch schnelle Zusammenpressung der Luft leicht brennbare Körper entzündet werden. Es besteht im Allgemeinen aus einem kleinen auf der einen Seite geschlossenen, auf der anderen offenen hohlen Cylinder, in welchem ein genau passender Kolben an einem eisernen Stiele herauf und hinunter bewegt werden kann. Nach dem Hinunterstoßen muß aber der Kolben mit seiner unteren Fläche noch in einiger Entfernung von dem Grunde des Cylinders abstehen. Auf der unteren Fläche hat der Kolben ein kleines Häkchen, an welches beim Gebrauche des Instrumentes ein Stückchen Schwamm befestigt wird. Der Kolben wird so schnell als möglich herabgestoßen und eben so schnell wieder herausgezogen, damit der glimmende Schwamm nicht wieder verlösche, nachdem er den geringen Gehalt von Sauerstoffgas in der comprimirten Luft nach wenig Augenblicken verzehrt hat.

Da man bei dem Gebrauche einen festen Stützpunkt haben muß, die Entzündung des Schwammes überdies nicht immer gelingt, zum Lichtanmachen das Instrument selbst redend, zumal im Dunkeln, höchst unpraktisch ist, so ist das Ganze mehr ein physikalischer Apparat, um zu zeigen, daß durch Compression die Wärmecapacität verringert und mithin Wärme frei wird. Hierauf gründet sich nämlich (s. Art. Wärme) die Wirkung dieses Feuerzeuges.

Zu physikalichen Zwecken fertigt man am zweckmäßigsten den Cylinder von Glas, weil man dann den inneren Vorgang bequem übersehen kann.



Der starke Glascylinder von 8 bis 10 Zoll Länge wird mittelst einer kupfernen Regel mit Schmirgel warm ausgeschliffen, bis er 2 bis 3 Linien im Lichten weit ist. Das Innere muß genau cylindrisch sein. Geht die Bohrung durch, so wird das eine Ende mit einer messingenen Fassung und einem buchsbaumenen Knopf luftdicht verschlossen; doch läßt es sich (s. nebenstehende Figur) auch so einrichten, daß die Röhre in etwa 1 Zoll Entfernung von dem Boden endigt. Die Kolbenstange ist unten $1^1/_4$ bis $1^1/_2$ Zoll lang entweder mit Leder überzogen, oder es werden nach Art einer Stopfbüchse in Oel getränkte Lederscheiben zwischen zwei Metallscheiben zusammengepreßt. Unter den so erhaltenen Kolben bringt man das Häkchen zur Befestigung des Schwammes an, und an dem entgegengesetzten Ende der Kolbenstange

befindet sich ein Horngriff, der zu gleicher Zeit einen durch einen aufgeschraubten Deckel verschließbaren Behälter für Schwamm abgiebt *).

Bei den Versuchen mit Tachopyrien kommt es nicht sowohl darauf an, daß der Kolben durchaus fest an die innere Wandung des Cylinders anschließe, so daß bei der Compression durchaus keine Luft entweichen kann, sondern daß das Herabstoßen des Kolbens mit möglichster Geschwindigkeit geschehe. Eine Compression der Luft bis auf das Zwölffache der ursprünglichen Dichtigkeit reicht zur Entzündung von Feuerschwamm vollständig aus.

Die Veranlassung zur Construction dieses Feuerzeuges gab die Beobachtung eines Arbeiters in der Gewehrfabrik zu Etienne (Étienne en Forez), daß bei der Compression der Luft in der Ladungspumpe einer Windbüchse Wärme erzeugt werde. Prof. Mollet in Lyon erfuhr hiervon und dieser theilte es Charles in Paris mit, weshalb das Feuerzeug auch Mollet's Pumpe genannt wird **). In Deutschland hat namentlich Erman ***) Versuche mit diesem Apparate angestellt.

5) Das elektrische Feuerzeug oder die elektrische Lampe, Zündlampe, beruht auf der Thatsache, daß Wasserstoffgas bei Gegenwart von Sauerstoffgas durch den elektrischen Funken entzündet wird.

Der Mechanikus Brander in Augsburg scheint der Erste gewesen zu sein ****), welcher durch Volta's Versuche mit der elektrischen Pistole (1777) zur Construction eines derartigen Zündapparates Veranlassung genommen hat, wiewohl auch Fürstenberger zu Basel unabhängig von Brander auf denselben Gedanken gekommen zu sein scheint *****).

Die früheren, jetzt nicht mehr gebräuchlichen, unbequemen Einrichtungen übergehen wir hier, da sie nur historischen Werth haben und der Gegenstand zu unbedeutend erscheint, um darauf Gewicht zu legen; wir erwähnen nur die jetzt gebräuchlichen Vorrichtungen, bei denen das verbrauchte Wasserstoffgas stets aufs neue wieder erzeugt wird.

Umstehende Figur stellt ein elektrisches Feuerzeug gar. D ist ein bei g offenes Gefäß (gewöhnlich von Glas), welches bei g eine umschließende messingene Fassung hat. Durch den Deckel dieser Fassung reicht das gläserne Gefäß E mit seiner röhrenförmig auslaufenden Mündung in das untere Gefäß D etwa bis zu $^1/_3$ der Höhe desselben. Auf die Röhre ist etwas über ihrem Ende ein Cylinder von Zink oder aufgerolltem Zinkblech J geschoben, welcher durch einen unter ihm über die Röhre getriebenen Korkring vor dem Herabgleiten gesichert wird. In der Fassung G, welche luftdicht auf der Mündung von D ruht, und in welcher ebenfalls luftdicht E eingebracht ist, ist die metallene Röhre K luftdicht eingeschraubt. K ist mit einem Hahne versehen, der so durchbohrt ist, daß er in der

---

*) Gilb. Ann. Bd. XXV. S. 118.

**) Journ. de Phys. T. LVIII. p. 487 u. T. LXII. p. 256.

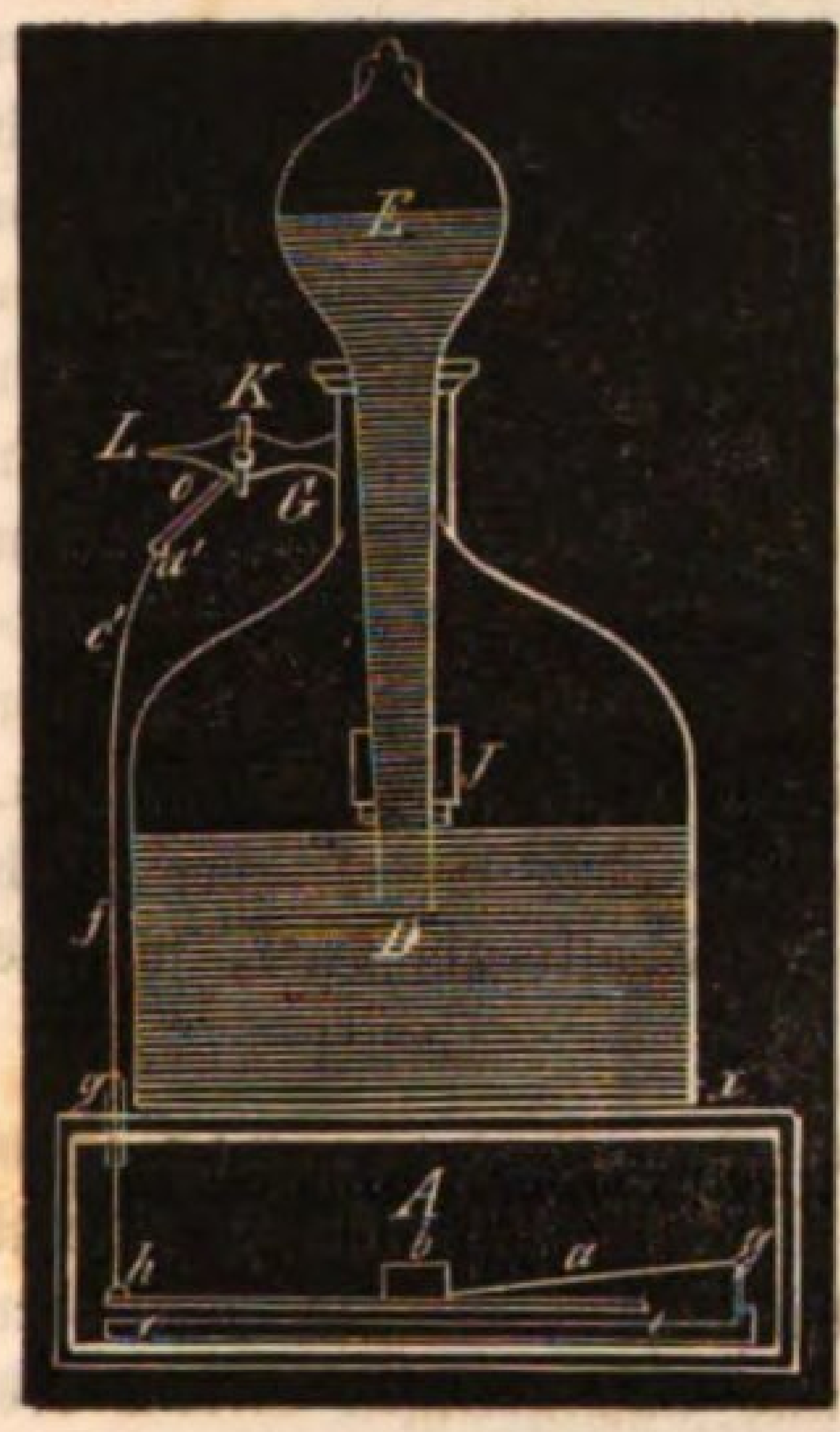
***) Gilb. Ann. Bd. XVIII. S. 240; vergl. auch S. 40 b. u. 407.

****) Beschreibung des Luftelektrophors von Joseph Weber. Zweite Ausgabe. Augsburg 1779.

*****) Description et usage de quelques Lampes à ais inflammable à Strasbourg. 1780. Beschreibung und Gebrauch einiger elektrischer Lampen. Aus dem Französischen. Straßburg 1780.

von der Zeichnung angegebenen Stellung die Röhre luftdicht schließt, nach einer Viertelsdrehung aber die Röhre öffnet; auf die Mündung dieser Röhre ist die durchbohrte feine Spitze L geschraubt.

Das Gefäß D steht auf dem wohlverwahrten hölzernen Kasten A, und wird durch den dasselbe rings umgebenden Messingring x vor dem Herausgleiten aus der festen Stellung bewahrt. In dem Kasten befindet sich ein Elektrophor (s. d. Art. Elektrophor), welcher aus dem Kuchen e e und aus dem auf dem Kuchen liegenden Deckel besteht. Dieser ist eine mit einem Rande versehene verzinnte Eisenblech- oder Zinkplatte, welche in der Mitte eine Fassung b hat, in welche eine Glasstange oder ein Spiegelglasstreifen eingekittet ist. Dieser isolirende Glasstreifen hat am anderen Ende eine metallene Fassung mit einem Charnier, welches in g' auf einer Stütze befestigt ist; wird daher der Draht e' f h angezogen, so hebt man zugleich den Deckel isolirt in die Höhe. Vom Rande des Kuchens geht über diesen so weit hin ein Stanniolstreifen, daß, wenn der Deckel auf dem Kuchen liegt, Form und Deckel in metallischer Verbindung stehen, dann nämlich hat man, nachdem der Kuchen mit einem Fuchsschwanze gepeitscht worden, nicht erst nöthig, durch die Hand Deckel und Form in leitende Verbindung zu setzen, sondern man erhält sogleich (s. Art. Elektrophor) aus dem aufgehobenen Deckel einen Funken.



An dem Ende des Hahnes K, welches dem Handgriffe entgegensteht, ist der messingene Fortsatz o angebracht, welcher eine kurze Glasröhre trägt. Das Ende dieser Glasröhre ist mit einem messingenen Haken a' versehen und an diesem der feine Kupferdraht e' f befestigt, welcher von der Glasröhre g isolirt durch den Deckel des Kastens A geht und bei h an einen Ring des Elektrophordeckels befestigt ist. Die Einrichtung muß so getroffen sein, daß, wenn man dem Hahne K eine Viertelsdrehung giebt, a' der Spitze L gegenüber zu stehen kommt und zugleich der Elektrophordeckel gehoben ist.

Um das elektrische Feuerzeug zum Gebrauche fertig zu machen, hebe man das Gefäß E aus dem unteren Gefäße D heraus, fülle D bis nicht ganz an seinen oberen Rand mit verdünnter Schwefelsäure *) und senke hierauf, während der Hahn K geschlossen bleibt, das oben offene Gefäß E mit luftdichter Schließung in D ein. Sogleich entwickelt sich durch Einwirkung des gesäuerten Wassers auf das Zink J Wasserstoffgas, welches aufsteigend, da es nicht entweichen kann, das Wasser herab und in das Gefäß E durch die untere Mündung desselben drängt. Das Gefäß E

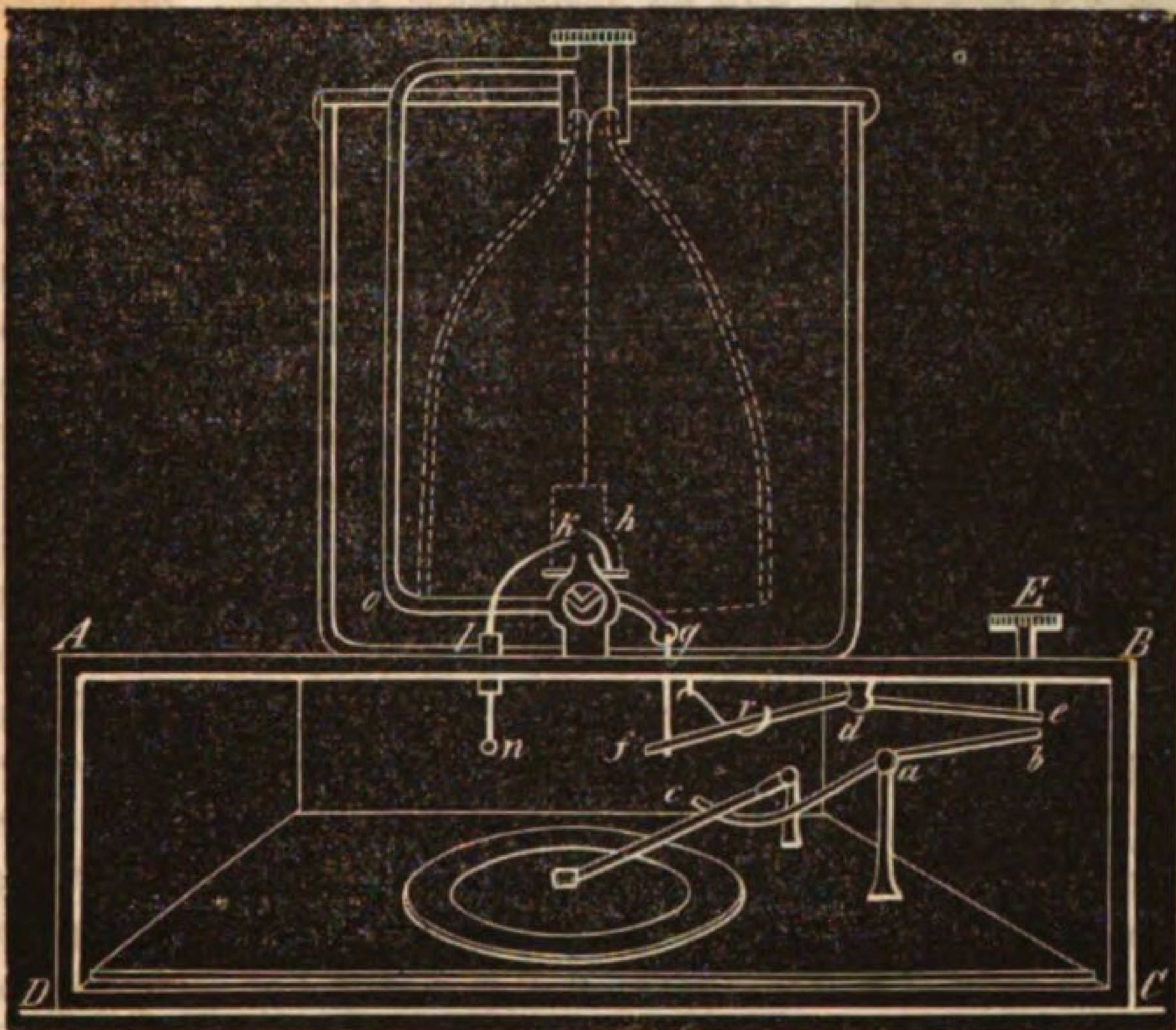
*) Man nimmt ungefähr 3/4 Quart oder 58 Loth reines frisches Wasser in einem etwas größeren Topf und gießt langsam unter stetem Umrühren mit einem hölzernen Stabe 16 Loth klare Schwefelsäure dazu. Hierbei muß man sich sehr in Acht nehmen, daß man sich nicht bespritze. Diese Mischung wird sich stark erhitzen, weshalb man sie etwa eine halbe Stunde stehen lassen muß, um sie abzukühlen. Die Säure muß stets in das Wasser, nicht das Wasser in die Säure gegossen werden.

muß oben offen bleiben, darf wenigstens nicht luftdicht verschlossen sein, damit die in demselben befindliche Luft der aufsteigenden Flüssigkeit Platz machen kann. Die Gasentwickelung und das Steigen des Wassers in E dauert so lange, bis das Wasser im Gefäße D unterhalb des Punktes J steht. E muß daher groß genug sein, um die ganze vorher in D oberhalb des unteren Endes von J befindliche Wassermenge bequem zu fassen. Hierauf nimmt man den Kuchen des Elektrophor aus dem Kasten A, peitscht ihn mit einem Fuchsschwanze und setzt ihn wieder an seinen Ort. Nun ist der Apparat zum Gebrauche fertig. Dreht man nämlich den Hahn K, der so eingerichtet ist, daß er nur eine Viertelsumdrehung machen kann, so strömt aus der Spitze L mit Gewalt Wasserstoffgas aus, weil das Wasser in E mit seiner ganzen Schwere auf das Gas drückt; zugleich schlägt, weil der geladene Deckel des Elektrophors gehoben ist, ein elektrischer Funke zwischen der Spitze L und a′ über und entzündet das Gas, welches fortbrennt, bis der Strom desselben durch Schließung des Hahnes K wieder abgeschniten wird. Der Mündung L gegenüber kann man ein Licht anbringen, welches durch das brennende Gas entzündet wird, worauf der Hahn K sogleich wieder geschlossen werden kann. Beim Gebrauche des Instrumentes erhebt sich das Wasser wieder über J, aber gleich nach Schließung des Hahnes wird es durch das neu sich bildende Gas, welches nicht mehr entweicht, wieder herabgedrückt.

Diese elektrischen, so wie die sogleich zu beschreibenden Döbereiner'schen Feuerzeuge haben vor allen übrigen den Vorzug, daß man, wenn sie einmal in Gang gebracht sind, jederzeit mit den geringsten Umständen aufs schnellste eine lebendige Flamme erhalten kann, auch den üblen und nachtheiligen Geruch des Schwefels vermeidet; sie sind indessen weniger leicht transportirbar als die meisten der übrigen Feuerzeuge. Es dauert Monate, ehe es nöthig wird die Füllung des Apparates zu erneuen, und auch der Elektrophor behält sehr lange nach einmaliger Peitschung seine funkengebende Kraft. Noch geschmackvoller, leichter herzustellen und compendiöser ist eine andere Einrichtung, welche man dem elektrischen Feuerzeuge geben kann, indem die beiden Gefäße nicht übereinander, sondern in einander gestellt werden. Da sich das Döbereiner'sche Feuerzeug nur in Bezug auf den eigentlichen Zündapparat, nicht aber in Hinsicht der Vorrichtung zur Entwickelung und Ausströmung des Gases von dem elektrischen Feuerzeuge unterscheidet, so werden wir diese zweite Einrichtung bei jener beschreiben und hier nur die Anordnung des Zündapparates erläutern.

Es sei ABCD in umstehender Figur die offene Vorderwand des Kastens, welcher den Elektrophor enthält; das Auge stehe mit der Kastendecke in einer Ebene. Aus dem oberen Theile des Gaserzeugungsapparates führt eine Röhre o zu dem Ausmündungsrohre unterhalb hk in der Mitte des Vordertheiles des Kastendeckels. Der Griff g des Hahnes steht mit dem Hebel edf in fester Verbindung durch einen starken Draht fg und wird durch die auf df wirkende Feder r in der Stellung erhalten, daß das Ausmündungsrohr verschlossen ist. Der Arm de des Hebels edf, dessen Drehpunkt in d liegt, befindet sich unter einem Drücker E, und wenn durch einen auf E ausgeübten Druck e sich herabbewegt, so geht der Hahngriff g in die Höhe und nimmt die Stellung ein, bei welcher das aus o kommende Gas bei hk ausströmen kann. In demselben Augenblicke, in welchem das Gas ausströmt, ist durch Einwirkung des Druckes E auf den zweiten Hebel bac,

dessen Drehpunkt in a liegt, der Elektrophordeckel so weit gehoben, daß aus ihm ein Funke nach dem bei l isolirt durch die Kastendecke gehenden Drahte n l k über-



springt. An dem Metallkopfe, in welchem sich der Hahn dreht, ist eine metallene Spitze h befestigt; in diese springt der elektrische Funke aus k über und entzündet hierbei das ausströmende Gas.

Der ganze Apparat wird überdeckt durch eine auf dem Kastendeckel aufruhende Hülle, welche demselben ein gefälliges Ansehen giebt, so daß er als eine Verzierung des Zimmers gelten kann.

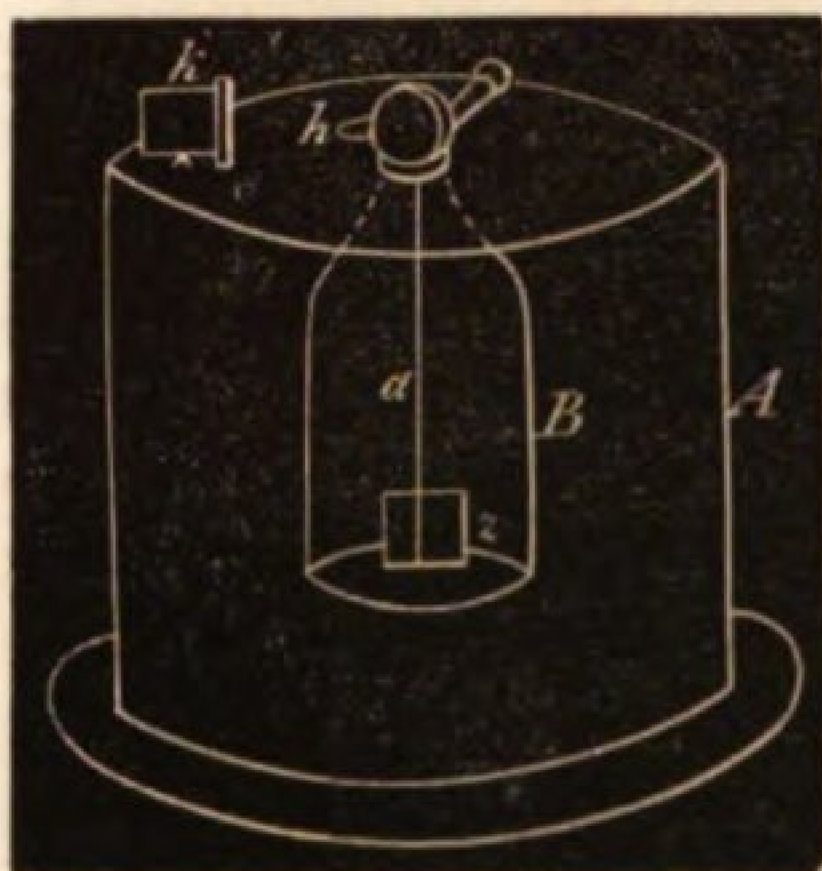
6) Das Döbereiner'sche Feuerzeug oder die Platin-Feuermaschine beruht auf der Erfahrung, daß fein zertheiltes Platin (Platinschwamm) in Berührung mit Wasserstoffgas und atmosphärischer Luft erst roth-, dann weißglühend wird, so daß sich der Wasserstoffgasstrom selbst daran entzündet (s. Art. Platina). Den Platinschwamm statt der Elektricität bei dem elektrischen Feuerzeuge zur Anwendung zu bringen, war ein zu nahe liegender Gedanke, als daß er sich Döbereiner, welcher 1823 die bezeichnete Eigenschaft des Platinschwammes*) entdeckte, nicht sofort hätte aufdrängen sollen. Deshalb gab er auch sogleich mit der Entdeckung die Construction seines Feuerzeuges, wobei die Vereinfachung der elektrischen Feuerzeuge ihm wesentlich zu Statten kam, so daß seine Apparate sich gleich anfangs empfahlen und die elektrischen immer mehr verdrängten.

Die jetzt gebräuchliche Einrichtung der Döbereiner'schen Feuermaschine ist folgende:

---

*) Gilb. Ann. Bd. LXXIV. S. 269. Schweigger's Journ. der Chemie und Physik. Bd. XII. S. 62.

A ist der Hafen oder Säurebehälter, welcher aus Glas oder Porzellan besteht, eine cylinder- oder vasenförmige Gestalt hat und unten zu, oben aber offen ist, etwa 6 bis 8 Zoll hoch und 4 bis 5 Zoll im Durchmesser haltend. Auf demselben liegt ein messingener Deckel ohne luftdichte Schließung, auf dessen oberer Seite sich der Hahn mit seinem Hebel und dem Ausmündungsröhrchen h und die Platinkapsel k befindet, und an dessen unterer Seite ein gläserner, trichterförmiger und unten offener Gasbehälter B luftdicht befestigt ist, in welchem sich eine metallene Stange mit unten vorgeschrobener bleierner Kreuzmutter befindet.



Der Hahn steht in der Mitte des Deckels und befindet sich in einem Metallzapfen, der seiner Länge nach, von unten bis zu der für den Hahn bestimmten Oeffnung durchbohrt ist, aber noch eine zweite auf der ersten senkrecht stehende Durchbohrung hat, welche nach der Platinkapsel hin gerichtet ist und das Ausmündungsröhrchen aufnimmt. Der Hahn besteht in einem genau in die Oeffnung des Metallzapfens eingeschliffenen cylindrischem Stücke, welches ebenfalls eine doppelte Bohrung hat, so nämlich, daß von beiden in einander übergehenden und nur bis zu dieser Vereinigung fortgesetzten Bohrungen die eine senkrecht auf der anderen steht. Er paßt so in den Metallzapfen und auf dessen Bohrungen, daß er sowohl den von unten kommenden Kanal in den seitlichen fortzuführen als abzuschließen dient, je nachdem man ihn dreht. In der abschließenden Stellung wird der Hahn durch eine Metallfeder gehalten, welche auf das dem Druckgriffe entgegengesetzte kürzere Ende wirkt und dies niederhält. Durch einen auf den Griff ausgeübten Druck kommt der Hahn in die öffnende Stellung und geht bei aufhörendem Drucke durch die Feder wieder in die abschließende von selbst zurück.

In den seitwärts gerichteten Kanal schraubt man das Ausmündungsröhrchen; es hat eine sehr feine Oeffnung und ist zum bequemen An- und Abschrauben mit einem krausen Rande versehen.

Die Platinkapsel steht vor der Ausmündungsöffnung in einer Entfernung von etwa einem Zolle und ist ein nach dieser Mündung hin offenes messingenes Kästchen k, in welchem sich an feinen Platinfäden einiger Platinschwamm befindet.

Der Gasbehälter B muß um so viel kleiner als der Hafen A sein, daß er nach allen Seiten hin etwa einen Zoll von dessen inneren Wandungen absteht.

Die metallene Stange mit der bleiernen Kreuzmutter darf nur so lang sein, daß ihr unteres Ende noch etwas oberhalb der unteren Mündung des Gasbehälters B steht.

Um den Apparat zum Gebrauche in Stand zu setzen, fülle man den Hafen nach Abhebung des Deckels etwa bis zu $^2/_3$ seiner Höhe mit verdünnter Schwefelsäure (s. o. Anmerk. bei 5). Jetzt schraubt man die in dem Gasbehälter an der metallenen Stange befindliche Kreuzmutter ab, steckt einen Zinkkolben (ein in der Mitte durchbohrtes Stück Zink) auf diese Stange und schraubt die Mutter wieder vor, so daß der Zinkkolben auf ihr ruht, und legt nun den Deckel auf den Hafen,

so daß sich der Gasbehälter sammt den Zinkkolben in die Säure hineinsenkt. Die in dem Gasbehälter befindliche atmosphärische Luft wird in dem Hafen die Säure in die Höhe drängen, wobei man sogleich erkennen kann, ob man zuviel oder zu wenig Säure hineingegossen hat, indem dieselbe nur bis etwa einen Zoll unter den Rand des Hafens steigen darf. Steigt die Flüssigkeit höher, so muß man etwas abgießen; im entgegengesetzten Falle noch etwas hinzugießen.

Um die jetzt noch im Gasbehälter befindliche atmosphärische Luft schnell hinauszulassen und zugleich das Beströmen des in der Kapsel befindlichen Platinschwammes zu verhindern, (welches demselben schädlich ist), befestigt man ein Stückchen steifes Papier vor dieser Kapsel, schraubt das am Hahne befindliche Ausmündungsröhrchen ab und öffnet sodann den Hahn mittelst Herunterdrücken des Griffes. Durch die größere Mündung des Hahnes wird die in den Gasbehälter befindliche Luft meistens ausströmen, was man bei den durchsichtigen Häfen an dem schnellen Fallen der Säure, die jetzt in den Gasbehälter hineinsteigt, deutlich sehen kann. — Das Oeffnen des Hahnes darf jedoch nur so lange stattfinden, bis man sieht, daß die Säure in beiden Behältern gleich hoch steht, welches höchstens nach zwei Secunden geschehen ist. Bei zu lange geöffnetem Hahne entsteht eine zu starke Gas-Entwickelung, wodurch die Säure leicht höher steigt und wohl gar in den Hahn dringt, wodurch eine Verstopfung desselben herbeigeführt werden kann. — Gleich nach Schließung des Hahnes beginnt durch die Berührung des Zinkes mit der Säure die eigentliche Wasserstoffgas-Entwickelung, durch welche in kurzer Zeit der Gasbehälter gefüllt und die Säure aus demselben verdrängt wird, bis sie nur noch die Mutter unter dem Zink berührt. Jetzt öffnet man zum zweiten Male den Hahn, läßt sämmtliche Luft unter oben bemerktem Verfahren wieder ausströmen, und kann nun sicher sein, daß bei der aufs neue erfolgenden Gasentwickelung nur noch äußerst wenig atmosphärische Luft in dem Gasbehälter geblieben ist. — Bei dieser starken Ausströmung der Luft muß man sich sorgfältig hüten, dem Luftstrom durch ein brennendes Licht zu nahe zu kommen, weil dadurch eine Entzündung des Gases und eine Explosion entstehen würde.

Jetzt schraubt man das Ausmündungsröhrchen, dessen Gewinde man mit Talg bestreicht, damit es luftdicht anschließe, wieder fest, nimmt das vor der Platinkapsel befestigte Stück Papier wieder fort und wird nun sehen, wie nach Oeffnung des Hahnes der feine Gasstrom durch den gegenüberstehenden Platinschwamm sogleich zu einer Flamme entzündet wird. Sollte jedoch, etwa wegen zu großer Erkältung des Platins, oder weil er sonst zu lange außer Gebrauch gewesen, nicht sogleich eine Flamme entstehen, so ist es für das erste Mal nöthig, das Gas mittelst eines brennenden Fidibus anzuzünden, was in der Folge nur dann wieder nöthig werden dürfte, wenn die Maschine sehr lange Zeit außer Gebrauch gewesen sein sollte.

Den Deckel darf man nie so weit aufheben, daß der Gasbehälter aus der Säure ganz heraus kömmt, weil dann wieder atmosphärische Luft in denselben eindringen würde, und man das oben angegebene Verfahren bei der ersten Instandsetzung wiederholen müßte.

Sollte die auf vorstehende Art in Stand gesetzte Maschine nach längerem oder kürzerem Gebrauche kein Feuer mehr geben, so kann dies nur seinen Grund haben entweder a) in der Verstopfung des Ausmündungsröhrchens, oder b) in der Verdorbenheit des Platinschwammes, oder c) in der gänzlichen Sättigung der Säure,

so daß sie kein Gas mehr erzeugt, oder d) in der gänzlichen Auflösung des Zinkkolbens.

a) Da das Ausmündungsröhrchen eine sehr feine Oeffnung hat, so kann dieselbe leicht durch eingedrungenen Staub verstopft werden. Man erkennt dies daran, daß bei Oeffnung des Hahnes kein Gas ausströmt, und um zu entdecken, ob wirklich eine Gasausströmung stattfindet, hält man einen brennenden Fidibus an die Ausmündung und überzeugt sich, ob eine Gasflamme in vollkommener Größe und in gehöriger Richtung die Mitte des Platinschwammes treffend, entsteht; geschieht solches nicht, so hat man weiter nichts nöthig, als das Ausmündungsröhrchen abzuschrauben und mit einer feinen harten Schweinsborste aus einer Bürste zu durchstechen. Wenn man sich hierzu einer Nadel bedient, so läuft man Gefahr, die Oeffnung zu vergrößeren und dadurch das richtige Verhältniß zwischen ihr und der ganzen Maschine zu stören. Strömt nämlich das Gas aus der feinen Oeffnung gerade mitten auf den Platinschwamm, so muß eine baldige Entzündung des Gases entstehen; ist aber die Oeffnung zu groß geworden, so strömt das Gas leicht mit einem zischenden Geräusche aus, der nicht in seiner Mitte getroffene Platinschwamm erglüht zwar sehr stark, bewirkt aber gar keine oder nur mit einem kleinen Knalle eine Entzündung. Um diesem Uebel abzuhelfen, wodurch unnöthiger Weise viel Gas verschwendet wird, muß man die Oeffnung wieder zu verkleinern suchen.

b) Der Platinschwamm ist zwar bei Berührung mit Wasserstoffgas unzerstörbar und wird durch längeren Gebrauch der Maschine seinem Zwecke immer noch förderlicher; jedoch muß er sowohl vor Beströmung anderer Gasarten, namentlich vor Ammoniak und Stickgas, desgleichen vor dem Zünden mit Schwefelhölzchen, als auch vor örtlicher Zerstörung sehr in Acht genommen worden, und insbesondere dürfen die hervorragenden Platindrahtstifte oder das Gekräusel nicht niedergedrückt werden, sondern müssen frei vorstehen bleiben, indem nur durch sie ein schnelleres Zünden bewirkt wird. Im letzteren Falle, bei örtlicher Zerstörung, bleibt natürlich nur das Einsetzen eines neuen Schwammes übrig; in den übrigen Fällen löse man die Kapsel und glühe dem Schwamm über einer Spiritusflamme aus.

c) Wenn nach längerem Gebrauche, etwa nach Jahresfrist, die Säure so schwach geworden ist, daß sie kein Gas mehr entwickelt, welches man bei durchsichtigen Häfen am leichtesten daran erkennt, daß die Säure in dem Gasbehälter fortwährend den Zinkkolben berührt, ohne hinausgedrängt zu werden, oder auch daran, daß bei unverstopfter Ausmündungsröhre durch Oeffnung des Hahnes kein Ausströmen des brennbaren Gases bewirkt wird; so muß die alte Säure ausgegossen, der Hafen mit Wasser rein ausgespült, so wie das vorhandene Zink von allem Schmutze gereinigt und demnächst mit neuer Säure gefüllt werden, wie bei der ersten Herstellung.

d) Wenn man bei der Füllung mit einer neuen Säure zugleich bemerkt, daß der Zinkkolben schon fast ganz aufgezehrt ist, so muß gleichzeitig auch dieser erneuert werden. Ist der Zinkkolben aber noch zum Theil vorhanden, so kann man einen neuen auch noch dazu aufsetzen.

Nach mehrjährigem Gebrauche der Maschine wird es gut sein, bei einer neuen Füllung derselben den Hahn aus einander zu nehmen und den Hahnenbolzen, nachdem er zuvor sorgfältig gereinigt worden, mit gutem Oele oder Talg zu bestreichen, wobei man sich jedoch vorsehen muß, daß kein Fett in die Oeffnungen kommt.

Eine noch einfachere Einrichtung des Döbereiner'schen Feuerzeuges ist die von Fyfe *) angegebene, welche sich durch Kleinheit und Wohlfeilheit empfiehlt; aber ihrer Kleinheit wegen eine öftere Erneuerung der Füllung nöthig macht. Diese Maschine besteht aus einer gebogenen Glasröhre von etwa einem Zoll Weite, welche durch Einlassen in den hölzernen Fuß B (s. beistehende Figur) mit beiden Schenkeln aufwärts gestellt ist. Der längere Schenkel wird etwa 8, der kürzere 5 Zoll lang genommen, ersterer mit einem beweglichen Deckel bedeckt, letzterer aber mit einer messingenen Fassung versehen, welche einen Hahn D und eine feine Spitze f für das aus ihr strömende Wasserstoffgas hat. Um dieses zu erzeugen, wird die Röhre mit verdünnter Schwefelsäure (vergl. Anmerk. zu 5) so gefüllt, daß sie bis nahe an die messingene, vorher abgeschraubte Fassung reicht, dann ein Stück Zink g hineingeworfen und, damit dieses nicht bis in die Biegung herabfalle, durch das Stückchen Glasröhre H verhindert. Ist alsdann die Fassung wieder luftdicht aufgeschraubt, so füllt sich der kürzere Schenkel mit dem aus der Säure und dem Zink entbundenen Wasserstoffgase; dieses drückt die Säure in dem längeren Schenkel hinauf, bis das Zink mit ihr außer Berührung kommt, und wird dann selbst durch die höhere Säule der Flüssigkeit im längeren Schenkel so weit zusammengedrückt, daß es nach Oeffnung des Hahnes D aus der Spitze f ausströmt. Indem letzteres geschieht, kommt es, mit etwas Sauerstoffgas der umgebenden atmosphärischen Luft gemengt, in Berührung mit dem Platinschwamme bei F, welcher, an einem Platindrahte befestigt, durch den Träger L von einem um die Glasröhre gelegten Ringe getragen wird. Der Träger L ist ein Cylinder und um den Platinschwamm gegen die Einwirkung der äußeren Luft zu schützen, hängt an einer kleinen Kette J der Deckel K, welcher nach dem Gebrauche über den Platinschwamm geschoben und auf dem Cylinder L festgesteckt wird. Ist die Säure durch aufgelösten Zink gesättigt, so gießt man sie nach weggenommenen Deckel aus dem längeren Schenkel aus und füllt durch diesen neue ein, bis allmälig das Zink verzehrt worden ist und durch neues ersetzt werden muß.



7) Feuerzeug durch Reiben, Streichhölzchen. In neuerer Zeit ist das transportable Feuerzeug mit Stahl und Stein fast ganz verdrängt worden durch die Streichhölzchen. Man verfertigt dergleichen mit chlorsaurem Kali oder noch häufiger mit Phosphor als wesentlichem Bestandtheile.

a) Zur Anfertigung der Streichhölzer mit chlorsaurem Kali kann man auf folgende Weise verfahren:

Man reibt 1 Theil höchst fein gepulvertes Schwefelantimon (rohen Spießglanz) mit Leimwasser an, welches aus 1/4 Theil Leim im Verhältniß des Schwefelantimons besteht, und so viel Wasser enthält, daß ein dünner Brei entsteht. Zu diesem Breie setzte man dann 3 Th. zart geriebenes chlorsaures Kali und reibt das Ganze gehörig unter einander. (Das chlorsaure Kali und das Schwefelantimonium darf man nicht trocken zusammen reiben, weil leicht eine Explosion eintreten

*) Gilb. Ann. Bd. LXXVIII. S. 329 aus Edinb. Phil. Journ. No. XXII. p. 341.

könnte). Diese zusammengerührte Masse trägt man auf bereits in Schwefel getauchte breite Hölzchen in derselben Weise auf, wie die Zündmasse der gewöhnlichen Schwefelhölzer (vergl. 2), nur wenigstens 3 Linien weit, um des Erfolgs sicherer zu sein. Reibt man solche Hölzchen zwischen Schmirgelpapier, so entzünden sie sich.

b) Zu den Phosphorstreichhölzchen haben die verschiedenen Fabrikanten verschiedene Mischungsverhältnisse; im Allgemeinen besteht aber die Masse aus einem sehr innigen Gemenge von fein geschlämmten Braunstein, Salpeter, Phosphor und Gummischleim. Wir begnügen uns hier zwei Mischungsverhältnisse anzugeben. 21 Theile Gummi, 5 Th. Phosphor, 32 Th. Braunstein und 32 Th. Salpeter geben eine sehr gut zündende Masse. Etwas theurer ist folgende Zusammensetzung von Böttger in Frankfurt: 16 Th. Gummi arabicum, 16 Th. Braunstein und 14 Th. Salpeter werden mit so viel Wasser, wie zur Bildung eines mäßig dicken Breies erforderlich ist, zusammengerieben, hierauf bis zu etwa 40° erwärmt, und nun 9 Th. Phosphor unter fortdauernder Erwärmung so lange damit in einer Reibschale gerieben, bis keine Theilchen mehr davon zu erkennen sind, worauf man unter stetem Umrühren die Masse erkalten läßt *). Man streicht von ihr eine kleine Menge auf ein Schwefelhölzchen, oder auf das Ende eines Stückchen Zündschwammes, und läßt es gut austrocknen. Neuerdings hat man gefunden, daß die Masse nur $^1/_{15}$ höchstens $^1/_{12}$ Phosphor zu enthalten braucht. Um die Masse vor dem Anziehen von Feuchtigkeit zu schützen, überzieht man sie nach dem Austrocknen wohl mit Kopalfirniß. Daß man statt der Hölzchen auch Wachsstock nehmen kann, ist bereits unter 2 angeführt.

8) Das Brennglas und der Brennspiegel. Ueber diese beiden Brennapparate verweisen wir auf Bd. I. Artikel Brennglas S. 906 und Bd. I. Art. Brennspiegel S. 910. H. E.

Fibrin, Blutfaserstoff. — Fibrin nennt man eine dem Eiweiß sehr ähnliche Substanz, welche im Blute, dem Chylus und der Lymphe neben diesem vorkommt; es scheidet sich als ein zusammenhängendes Coagulum aus, sobald diese Flüssigkeiten aus dem thierischen Organismus entfernt oder innerhalb desselben außer Circulation getreten sind; die geronnene Blutmasse nennt man Blutkuchen, Cruor. Die Schwierigkeit insbesondere, den Körper vollkommen rein zu erhalten, hat es bis jetzt trotz zahlloser Versuche unmöglich gemacht, ihn genau kennen zu lernen. Man unterscheidet drei Modificationen des Fibrins, das in den thierischen Säften aufgelöste, das freiwillig geronnene und das gekochte. Die Eigenschaften des aufgelösten Fibrins sind kaum bekannt; seine Gerinnung ist durch Sauerstoffzutritt bedingt oder wird wenigstens dadurch befördert; verlangsamt wird sie durch Kohlensäure und verdünnte Lösungen von ätzenden, kohlensauren, schwefelsauren, salpetersauren und salzsauren Alkalien. Das freiwillig geronnene Fibrin erhält man durch Schlagen oder Rühren frischgelassenen Blutes, wobei es sich als eine faserige, gelbliche Masse an den Rührstab anlegt. Getrocknet ist es hart und spröd, besitzt übrigens alle Eigenschaften der Proteinverbindungen, löst sich aber leichter als andere in Essigsäure und Alkalien, geht sehr schnell in Fäulniß über, und bildet hierbei Schwefelwasserstoff, Buttersäure, Baldriansäure ꝛc. Salpeterlösung löst das Fibrin zu einer bei 50° gerinnenden

---

*) Technisches Wörterbuch von Karmarsch und Heeren. Bd. II. S. 606.

Flüssigkeit, die von den Lösungen des Eiweißes und löslichen Fibrins wesentlich verschieden ist. Das gekochte Fibrin endlich ist dem gekochten Eiweiß überaus ähnlich; es löst sich nicht in Salpeterwasser. Nach Mulder ist das Fibrin ein höheres Oxyd des Proteins (des hypothetischen Radikals der eiweißartigen Körper) mit Sulfamid und Phosphamid verbunden: $6\,(C_{36}\,H_{25}\,N_4\,O_{10} + 2\,HO) + H_2\,NS\,H_2\,NP$. Das Muskelfibrin ist von dem Blutfibrin verschieden.

Fibroin nennt Mulder eine fibrinähnliche Substanz, welche er aus Seidenfäden und Herbstfäden erhalten hat; dieselbe findet sich gleichfalls in Menge im Badeschwamm. H. Rt.

Figurabilität (v. d. lat. figura, Gestalt), ein besonderer Ausdruck für die Thatsache, daß alle Körper, welche wir wahrnehmen, einen bestimmten endlichen Raum erfüllen, dessen Grenzen die Vorstellung der Gestalt oder Figur bedingen. Die starren Körper haben, abgesehen von äußeren fremdartigen Einwirkungen, eine ihnen unabhängig von den Umgebungen zukommende Gestalt, welche bei vielen von ihnen eine auffallend große Regelmäßigkeit oder Symmetrie zeigt (s. d. Art. Krystall). Andere Klassen von Körpern, die tropfbarflüssigen und gasförmigen, haben keine selbstständige Gestalt, sondern richten sich bei Annahme der einen oder anderen Gestalt allemal nach ihren Umgebungen, z. B. nach der Form der Gefäße, worin sie enthalten sind. Dagegen haben die tropfbaren Körper, wie die starren, unter gewöhnlichen Umständen eine unveränderliches Volumen, während die gasförmigen das Bestreben zeigen, den Raum so weit zu erfüllen, als ihnen die durch die Umgebung gesetzten Hindernisse gestatten.

Figuren, elektrische, sind eigenthümliche regelmäßige Spuren, welche die elektrische Entladung auf glatten Flächen zurückläßt. Sie sind zu unterscheiden von jenen Spuren, in welchen sich eine einfache mechanische oder chemische Wirkung der Entladung kund giebt. Spuren der letzteren Art *) sind die matten Furchen, welche die Entladung in harte Gläser oder Steine gräbt, und die man auch erhält, wenn ein Fleischstück, ein grünes Blatt, ein feuchte thierische Membran in den Schließungsbogen einer elektrischen Batterie eingeschaltet wird. Die Substanzen werden durch die Entladung aufgerissen und zuweilen durch Zersetzung ihrer Flüssigkeiten farbig gestreift.

Rieß schlägt vor eine Unterscheidung zwischen elektrischen Figuren und elektrischen Bildern zu machen. Jene sind gemeint, wenn die Ausdehnung der Zeichnung durch die Entladung selbst gegeben wird, die Bilder hingegen, wenn man die Ausdehnung willkürlich vorher bestimmt, indem man die Entladung durch eine mit erhabenen Zügen versehene Metallplatte (das Modell) einleitet.

Die elektrischen Figuren (im allgemeinen Sinne) zerfallen in zwei wesentlich verschiedene Gruppen. Bei der ersten Gruppe bleibt auf der Platte Elektricität zurück, welche die Zeichnung bildet, diese sollen primär-elektrische Figuren heißen. Die Zeichnungen der zweiten Gruppe, welche secundär-elektrische Figuren genannt werden, entstehen durch eine durch die Entladung hervorgebrachte Aenderung der Oberfläche der angewandten Platte. Einige von ihnen sind unmittelbar sichtbar, andere müssen erst sichtbar gemacht werden.

---

*) Rieß, Lehre von der Reibungselektr. §. 533. u. 739 ꝛc.

Von den primär elektrischen Figuren sind die Staubfiguren oder sogenannten Lichtenberg'schen Figuren, schon unter dem Artikel Elektricität (vergl. auch Funke, elektrischer) abgehandelt worden. Deshalb sollen hier nur noch einige darauf bezügliche Beobachtungen von Wiedemann *) mitgetheilt werden. Derselbe hat diese Figuren auf verschiedenen Unterlagen gebildet und dabei folgende merkwürdige Erfahrung gemacht. Wird eine Glas- oder Pechfläche, oder die Fläche eines zum regulären Systeme gehörigen Krystalls, wie Alaun, Flußspath, mit Semen lycopodii bestreut und berührt man eine normal auf der Fläche stehende Metallnadel mit dem Knopfe einer positiv geladenen Flasche; so entsteht durch Entblößung der Fläche vom Staube eine Figur, deren Strahlen von der Nadelspitze aus ziemlich gleich lang sind. Ist hingegen zu dem Versuche ein nicht zum regulären Systeme gehöriger Krystall angewendet worden, z. B. Gyps, so sind die Strahlen in einer Richtung am längsten, in der senkrecht darauf stehenden am kürzesten. Die Figur ist also im ersten Falle kreisförmig, im zweiten elliptisch. Die Kreisform lehrt, daß die Leitung der Elektricität in allen Richtungen der Platte gleich gut, die elliptische Form, daß sie ungleich sei, und zwar giebt die große Axe der Ellipse die Richtung der besten Leitung an. Wiedemann hat in dieser Weise mehrere Krystalle untersucht und gefunden, daß einige Krystalle, die zu den optisch negativen gehören, in der Richtung der krystallographischen Axe die Elektricität am besten leiten, andere Krystalle, die, mit Ausnahme des Feldspaths, zu den optisch positiven gehören, hingegen in der Richtung am besten leiten, welche auf ihrer Axe senkrecht steht. Zu den Ersten gehören: Arragonit, Apatit, Kalkspath, Turmalin, zu den Letzteren hingegen: essigsaures Kalk-Kupferoxyd, Cölestin, Schwerspath, Gyps, Feldspath, Epidot. Der Feldspath zeigte auch darin ein von den übrigen Krystallen abweichendes Verhalten, daß die Figur nicht von Staub frei war, sondern erst beim Umkehren des Krystalls erkennbar wurde, indem der Staub sonst festgedrückt blieb.

Wir kommen nun zu den Staubbildern, wie sie Rieß **) nach der oben angeführten Erörterung nennt. Zu diesen Bildern müssen Modelle, wie Stempel und Petschafte aus Metall, benutzt werden, in welchen Buchstaben oder andere Zeichen durch eingeschnittene Furchen kenntlich gemacht sind. Es mag nun der Buchstabe durch die ebenen oder vertieften Stellen der Platten gezeichnet sein, so kann man das Bild stets auf die ebenen, den Grund auf die vertieften Stellen beziehen. Man stelle das Modell auf eine recht ebene einfache Pechfläche, deren Unterlage abgeleitet ist, berühre das Modell mit dem Knopfe einer geladenen Leydener Flasche, hebe das Modell an einem isolirenden Handgriffe ab, und bestäube die Pechfläche mit einem Gemenge aus Schwefel und Mennige. War die Flasche mit positiver Elektricität geladen, so erhält man das Bild des Modells wenig und roth bestäubt, den Grund mit krausen gelben Staubfiguren ausgefüllt; das ganze Bild von einem breiten gelben Strahlenringe umfaßt. War die Flasche mit negativer Elektricität geladen; so ist das Bild wenig und gelb bestäubt, der Grund roth. Das Staubbild wird merklich geändert und erscheint weniger scharf, wenn das Modell vor dem Abheben entladen wird, und auch sonst, wenn die Flasche stark geladen ist.

*) Poggend. Ann. Bd. LXXVI. S. 404.
**) Lehre ꝛc. Bd. II. S. 214; Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 8.

Um diese Bilder möglichst rein zu erhalten, zeigte sich unter anderen nachstehendes Verfahren als sehr geeignet. Ein hohler mit Metallfassungen geschlossener Glascylinder, in dem ein Stempel auf eine ebene Pechplatte gestellt war, wurde auf eine Luftpumpe geschraubt, und die Luft in demselben bis 3 Linien Barometerstand verdünnt. Alsdann wurde eine Leydener Flasche, mit 25 Funken positiver Elektricität geladen, einige Secunden lang an die obere Fassung des Cylinders gehalten, welche durch einen Draht mit dem Stempel verbunden war. Die Bestäubung der Pechplatte gab ein vollkommenes rothes Bild auf einem ganz gleichmäßig bestäubten Grunde. Bei negativer Ladung der Flasche entstand ein vollkommenes gelbes Bild. Sonst erhielt Rieß auch gute Bilder, wenn er den Stempel längere Zeit hindurch mit dem einen Pol einer trocknen Säule in Verbindung setzte, während der andere Pol zur Erde abgeleitet war.

Rieß *) erklärt die Entstehung der Staubbilder auf folgende Weise. Ein elektrisirtes Modell auf einer isolirenden Platte erregt durch Influenz (Vertheilung) die ungleichnamige Elektricität an der Oberfläche der Platte, während die gleichnamige durch die Masse der Platte abgeleitet wird. Unter den ebenen, an der Platte anliegenden Stellen des Modelles ist diese Elektricität am stärksten, unter den Furchen wird die schon an sich schwächere Influenzelektricität neutralisirt durch fortdauernden Uebergang der eigenen Elektricität des Modelles. So entstehen die vollkommensten Bilder bei Anwendung der Leydener Flasche im luftverdünnten Raume, wo der Uebergang der Elektricität an den Rändern des Modells erleichtert wird, und zugleich die Stärke der Elektrisirung beschränkt ist. Wird durch zugelassene Luft der Uebergang der Elektricität an den Rändern erschwert, so entstehen, wenn die Elektrisirung des Modells gering ist, gute Bilder auf fleckigem Grunde, wenn aber die Elektrisirung plötzlich eintritt, Bilder und Staubfiguren zusammen. Alle diese Bilder sind durch Influenzelektricität erzeugt, weil zwischen ebenen Platten von sehr verschiedenem Leitungsvermögen Elektricität schwer übergeht, und daher unter den ebenen Stellen des Modells keine Elektricität von dem Modelle auf die Pechplatte gelangt. Dieser Uebergang von Elektricität kann erzwungen werden, wenn das Modell durch Verbindung mit dem Conductor der Elektrisirmaschine heftig und anhaltend elektrisirt wird. Dann entstehen zuweilen die Bilder in der Farbe, die der Elektricität des Modells zugehört, oder auch, wenn die übergetretene Elektricität nur zur Neutralisirung der Influenzelektricität unter dem Modelle hinreicht, unbestäubte Bilder.

Man kann eine längere Zeit zwischen der Elektrisirung und der Bestäubung der Pechplatte vergehen lassen, ohne daß der Schärfe des Bildes Eintrag geschieht, es mag nun von der einen oder von der anderen Elektricitätsart gebildet sein. Rieß hat einmal eine Pechplatte die unter einem Modelle dem negativen Pole der trocknen Säule ausgesetzt gewesen, 37 Minuten liegen lassen, ehe er sie bestäubte, dennoch erschien das Bild, wenn auch schwächer als sonst, gelb und mit dem Modelle entsprechenden Umrissen.

Die secundär elektrischen Figuren oder Zeichnungen lassen sich in zwei Classen theilen, in solche die nicht unmittelbar, und in solche die unmittelbar sichtbar sind. Die ersteren Zeichnungen werden dadurch sichtbar ge-

*) Lehre rc. Bd. II. S. 217; Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 13.

macht, daß man von der Platte auf der sie gebildet, Wassergas condensiren läßt. Alle festen Körper haben bekanntlich die Eigenschaft, die sie umgebenden Gase an ihrer Oberfläche zu condensiren. Wird nun die dünne Schicht, z. B. durch Elektricität theilweise zerstört oder verändert, so wird dann darauf gebrachter Wasserdampf, wozu man sich am bequemsten des Hauches bedient, an den modificirten Stellen anders condensirt werden als an den unveränderten Stellen. Man kann die Hauchzeichnungen nach der von Rieß gebrauchten Bezeichnungsweise eintheilen in Hauchfiguren und Hauchbilder.

Was zunächst die Hauchfiguren betrifft, hat zuerst Rieß im Jahre 1838 folgende Bemerkung gemacht *).

Glas oder Glimmerplatten nämlich, die zwischen Spitzen in den Schließungsbogen einer Batterie eingeschalten waren, zeigten, nachdem der Entladungsfunke über ihre Flächen gegangen war, beim Anhauchen eigenthümlich verästelte Figuren, die spiegelhell auf den vom Hauche getrübten Flächen standen. Diese Figuren, nach der Art sie sichtbar zu machen, Hauchfiguren genannt, entstanden auf beiden Flächen jeder Platte, also um die mit der äußeren, wie um die mit der inneren Belegung der Batterie verbundene Spitze, von durchaus gleicher Form. Die Glasplatten waren an den Stellen, wo die Figuren erscheinen, leitend geworden, wie eine Prüfung am Elektroscope zeigte. Spätere Versuche lehrten, daß diese Figuren sich lange Zeit, nachdem die Platte der Entladung ausgesetzt war, durch den Hauch hervorrufen ließen, und nicht nur auf isolirenden, sondern auch, nur in anderer Form, auch auf vollkommen leitenden Platten entstanden. Nachdem nämlich von einer Spitze mehrere Funken auf polirte, mit Gold oder Silber plattirte Kupferbleche übergegangen waren, erschien im Hauche eine völlig spiegelnde Kreisfläche, von mehr und minder getrübten Kreisen umgeben. Daß die Hauchfiguren auf isolirenden Platten nicht durch Elektricität gebildet werden, die darauf nach der Entladung zurückgeblieben ist, ging daraus hervor, daß die Streifen ebenso erschienen, wenn die dem Funken ausgesetzte Fläche vor dem Behauchen mit einer Flamme bestrichen worden war; sie erhielten sich darnach ungeändert eine längere Zeit. Figuren, die durch einen Batteriefunken auf Glimmer erzeugt worden waren, konnten noch nach 8 Jahren deutlich erkannt werden.

Auf Metallen erscheint die Hauchfigur als Scheibe, auf Harz als geschlängelter Streifen, auf Glas und Glimmer als feine vielfach verästelte Linie. Von der Art der direct angewandten Elektricität ist die Form unabhängig, da die Figur durch eine Wirkung der Entladung bestimmt wird, bei welcher stets beide Elektricitäten thätig sind.

Die Darstellung der elektrischen Hauchbilder ist im Jahre 1842 von G. Karsten erfunden worden **). Eine Münze wurde auf eine Spiegelplatte gelegt die auf einer zur Erde abgeleiteten Metallscheibe ruhte. Nachdem eine Anzahl Funken vom Conductor zur Münze und von dieser zur Metallplatte übergeschlagen waren, wurde die Münze abgehoben und die Glasfläche zeigte angehaucht ein vollständiges Bild der Münze. Rieß giebt, an eben citirter Stelle, eine

*) Poggend. Ann. Bd. XLIII. S. 58.

**) Poggend. Ann. Bd. LVII. LVIII. u. LX.; Rieß, Lehre. Bd. II. S. 224, wie auch Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 20.

Vorschrift, nach welcher man die Hauchbilder sicherer erhalten soll. Von den Kugeln eines Funkenmikrometers, die $^1/_2$ Linie von einander entfernt gestellt werden, leitet man die eine zur Erde ab, legt die andere an den Conductor der Elektrisirmaschine und knüpft an ihr einen Silberfaden fest, der am Ende ein kleines Gewicht trägt (5 Grammen); das Gewicht stellt man auf das abzubildende Metallmodell, und dies auf eine ebene gut getrocknete Glasplatte. Nach 40 bis 50 Umdrehungen der Elektrisirmaschine erhält man gewöhnlich ein gutes Hauchbild des Modelles auf der Glasplatte. Leichter gelingen die Bilder auf einer alten Glimmertafel, unfehlbar erhält man sie auf einer neu geschmolzenen ebenen Pechplatte. Bei letzterer reichen wenige Umdrehungen der Maschine zu einem guten Bilde hin, das sich mehrere Tage erhält, wenn man die Pechplatte gleich nach dem Elektrisiren durch Bestreichen mit einer Flamme unelektrisch gemacht hat.

Die Hauchbilder sind weder nach dem Stoffe der Platten verschieden, noch nach der Elektricitätsart, mit welcher der mit dem Modelle verbundene Conductor geladen ist. Das Letztere erhellt ohne Weiteres, wenn man den Vorgang bei der Entstehung des Bildes betrachtet. Der Conductor der Maschine sei positiv elektrisch. So lange kein Funke im Mikrometer übergeht, entladet sich positive Elektricität von dem Modelle zur isolirenden Platte, also von oben nach unten; mit dem Erscheinen des Funkens wird die Platte von dem Modelle entladen, es findet also eine Entladung statt, bei der die positive Elektricität von unten nach oben geht. Das Bild entsteht durch eine Reihe abwechselnd entgegengerichteter Entladungen, deren Anzahl die doppelte der im Mikrometer übergehenden Funken ist. Ist der Conductor negativ elektrisch, so findet dieselbe Zahl entgegengerichteter Entladungen statt, nur im umgekehrten Sinne.

Bei der Entstehung der Hauchbilder sind stets die Bedingungen für mehrere vorhanden, die bei geeigneter Vorrichtung aufgezeigt werden können. Indem Elektricität von dem Modelle zur oberen Fläche der isolirenden (Glas-, Glimmer-, Pech-) Platte geht, entfernt sich Elektricität derselben Art von der Unterfläche, und geht auf die Unterlage über. Eben so wird, wenn das Modell die obere Fläche entladet, die Unterlage von der unteren Fläche entladen. Man hat daher zwei Entladungen derselben Elektricität in gleicher Richtung, und bei wiederholtem Laden und Entladen des Models entstehen zwei gleiche Reihen von Entladungen, abwechselnd in entgegengesetzter Richtung. Es können also, wenn auf einer Pechfläche eine Glimmerplatte liegt und auf diesem ein Stempel steht, drei Bilder sichtbar werden, nämlich auf der oberen und unteren Fläche des Glimmerblattes und auf der Pechfläche. Die beiden letzteren Bilder sind sehr häufig unvollständig, weil, wie Rieß bemerkt, Pech und Glimmer durch die nach jeder Entladung zurückbleibende Elektricität stark zusammenhaften und darauf folgende Entladungen dann an Stellen herbeigeführt werden, die zufällig zerstreut außerhalb der Bildfläche liegen. Vollkommener entstehen sie, wenn eine der einander berührenden Platten leitend ist, z. B. also, wenn man auf eine ebene polirte Messingplatte ein altes Glimmerblatt legt und auf dieses einen Stempel stellt.

Erzeugt man Hauchbilder auf Metallplatten, so braucht das Putzen derselben nur so weit getrieben zu werden, daß die Platte im Hauche gleichmäßig getrübt wird. Daß das Putzen hier nicht die Reinigung des Metalles bewirkt, sondern nur ein gleichmäßiges Ueberziehen der Metallfläche mit einer fremden Schicht zeigt sich darin, daß auf einer sorgfältig gereinigten und polirten Platte

kein Bild entstand, und nur einmal die Scheibe des aufgesetzten Stempels schwach angedeutet war.

Die Entstehung der Hauchbilder wie die der Hauchfiguren ist im Allgemeinen einer Veränderung zuzuschreiben, welche die Entladung in der die Platte deckenden fremden Schicht hervorbringt, die je nach den Umständen in einer Verdichtung oder Verdünnung dieser Schicht besteht.

Wir kommen nun zu den unmittelbar sichtbaren secundär elektrischen Figuren oder Zeichnungen. Man rechnet dazu die elektrischen Farbenstreifen, die Priestley'schen Ringe und die elektrolytischen Bilder. Sie sind darum unmittelbar wahr zu nehmen, weil der Stoff der Platten selbst verändert wird.

Die elektrischen Farbenstreifen entstehen, wenn man die Entladung über eine isolirende, z. B. Glas- oder Glimmerfläche gehen läßt; sie zeichnet darauf ihren Weg mit einer unauslöschlichen Spur. Es sind dies Farbenstreifen, die auf weichem Glase schöner als auf Glimmer entstehen. Auf Glimmer bestehen die Farbenstreifen aus continuirlich geschlängelten Streifen von durchgängig gleicher Breite, die im durchgehenden Lichte hellgrau gefärbt sind. Im reflectirten Lichte erscheint jeder Streifen als ein zierlich gefärbtes Band, das von zwei scharfgezeichneten dunkeln Linien eingefaßt ist, auf welche an jeder Seite eine helle spiegelnde Franze folgt. Minder schön als auf Glimmer lassen sich die Farbenstreifen auf Glas darstellen, das zufällig oder durch künstliche Behandlung an seiner Oberfläche die Elektricität leitet.

Die Priestley'schen Ringe wurden im Jahre 1766 von Priestley entdeckt und zwei Jahre darauf von ihm genauer untersucht *). Als er Batteriefunken zwischen convexen Metallflächen überschlagen ließ, waren beide Flächen in gleicher Weise mit Ringen gezeichnet, woraus folgt, daß die Erscheinung unabhängig von der Elektricitätsart ist. Schöner wurden die Ringe erhalten, wenn die Funken zwischen einer ebenen Metallfläche und einer darauf senkrechten Nadel überschlugen. Unter der Nadelspitze entstand auf der Fläche ein genau runder Fleck, der aus erhabenen und vertieften Stellen und einem schwarzen abwischbaren Staube bestand. Um diesen Fleck war ein breiter Ring mit den Regenbogenfarben entstanden, das Violett innen, das Roth außen. Bei Vermehrung der Entladungen bildete sich auch und zwar durch Oxydation des Metalls noch ein zweiter und ein dritter Ring **).

Die elektrolytischen Bilder, von Rieß ***) so genannt, entstehen durch elektrische Zersetzung eines dazu geeigneten Salzes, wie Jodkalium, und sind daher nach der elektrischen Einwirkung sogleich sichtbar. Rieß erfand sie, um die bei den Hauchbildern angenommene hin- und hergehende Entladung zu erweisen. Dieselben lassen sich ohne Schwierigkeit erklären, wenn man die Thatsache berücksichtigt, daß auf einem mit Jodkalium getränkten Papier, das auf einer zur Erde abgeleiteten Metallplatte liegt, durch positive Elektricität ein brauner Jodfleck entsteht, der

*) Priestley history of electr. 660. — Phil. Trans. 1768. — abridg T. XII. p. 510.

**) Weiteres hierüber in dem Art. Farbenringe, Priestley'sche.

***) Abhandl. d. Berl. Akad. 1846. S. 38; Poggend. Ann. Bd. LXVII. S. 135; Lehre rc. Bd. II. S. 235; Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 31.

durch eingeleitete negative Elektricität nicht wieder verschwindet. Die Entladung der Elektricität geschieht hierbei durch eine Platinnadel, die mit ihrem stumpfen Ende auf das Papier gestellt wird. Nimmt man denselben Apparat, wie ihn Rieß bei den Hauchbildern anwendete und legt statt der Metallplatte unter die Glimmerplatte, die höchstens 0,05 Linie dick ist und von durchaus gleichmäßiger Oberflächenbeschaffenheit sein muß, ein mit Jodkalium getränktes Papier, so wird auf dem Papier durch die hin- und hergehenden Entladungen, von denen aber nur die Hälfte wirksam ist, bei welcher sich eine bestimmte Elektricität auf das Papier entladet, ein braunes Bild des über der Glimmerplatte stehenden Modelles entstehen. Die positive Elektricität giebt die schönsten und am gleichmäßigsten gefärbten Bilder. Zur Darstellung derselben benutzte Rieß zwei Sorten Kartenpapier, von denen die eine, welche mit Stärke schwach geleimt war, von der etwas freies Jod enthaltenden Jodkaliumlösung violett gefärbt wurde, während die andere (mit thierischem Leime) stark geleimte ungefärbt blieb. Die Bilder zeigten sich auf beiden Papieren in scharfen Umrissen, waren jedoch auf dem schwach geleimten Papiere beständiger, so daß sich dieselben hier leichter durch eine zähe Lösung von Gummi arabicum fixiren ließen. We.

Filtriren (lat. filtratio, colatio; franz. filtration; engl. filtration), oder Filtrirung oder Durchseihung ist ein Mittel, dessen man sich bedient, um eine Flüssigkeit von einem Niederschlage oder von beigemengten festen Theilchen zu trennen, falls dies durch vorsichtiges Abgießen (Dekantiren) sich nicht ermöglichen läßt, und besteht darin, daß man die Flüssigkeit durch eine Substanz hindurch leitet, welche den festen Theilen selbst den Durchgang nicht gestattet.

Der Proceß des Filtrirens wird sehr häufig zu technischen, pharmaceutischen und ökonomischen Zwecken vorgenommen, entweder um die festen Theile für sich zu gewinnen, z. B. bei Bereitung von Farben, oder um blos die Flüssigkeit klar zu erhalten, z. B. bei der Bereitung von Extracten, oder auch um Beides, das Feste sowohl, wie das Flüssige, zu sondern und jedes für sich zu benutzen, wie es z. B. bei chemischen Analysen häufig vorkommt, oder um auf eine Flüssigkeit durch den Stoff, durch welchen dieselbe filtrirt wird, chemisch einwirken zu lassen, z. B. bei der Entfuselung des Branntweins.

Worauf es zunächst bei dem Filtriren ankommt, das ist die Substanz, durch welche die Absonderung bewirkt werden soll. Man nennt dieselbe das Filtrum, den Seiher oder Durchseiher, und es besteht dieselbe bei geringeren Quantitäten der zu filtrirenden Materie gewöhnlich aus Lösch- oder Fließpapier. Da das gewöhnliche graue Löschpapier nicht selten dem beabsichtigten Zwecke nachtheilige Metalltheile enthält, auch abgesehen hiervon, durch Haare und wollene Fasern das auf dem Filtrum Zurückbleibende verunreinigt, so bedient man sich in den meisten Fällen besser des weißen ungeleimten Druckpapiers. Bei der Wahl dieses Papieres muß man darauf sehen, daß es schnell arbeitet, also daß es möglichst porös ist. Das im Winter aus langfaseriger Masse fabricirte, welches, während es noch feucht war, stark gefroren ist, zieht man deshalb vor, weil das Eis bei seiner Bildung sich ausdehnt und dadurch die Poren lockert. Als das beste Filtrirpapier empfiehlt Berzelius *) das in Fahlun in Dalarm und das zu Lessebo bei

*) Lehrbuch der Chemie von Berzelius, übersetzt von Wöhler. 1841. Bd. X. S. 259—271.

Weriö in Småland verfertigte, welches seine Vorzüge einem dem destillirten Wasser fast gleichkommenden Quellwasser verdankt, welches man bei seiner Bereitung benutzt. Nach Plantamour's Untersuchungen hinterläßt dies Papier nicht mehr als 0,2 Procent von dem Gewichte des trockenen als Asche nach dem Verbrennen zurück und besteht nach Procenten aus 63,23 Kieselerde, 12,83 Kalkerde, 6,21 Talkerde, 2,94 Thonerde und 13,92 Eisenoxyd. — Gut ist es, wenn man zu den verschiedenen Zwecken eine stärkere und eine dünnere Sorte besitzt, letztere namentlich zu quantitativen Bestimmungen. Kommt es darauf an, daß das Papier von auflöslichen unorganischen Substanzen möglichst frei sei, so behandelt man die bereits zurecht geschnittenen Stücken vor dem Gebrauche erst mit verdünnter Salpetersäure und wäscht sie dann mit destillirtem Wasser gehörig aus.

Die Papierstücken schneidet man kreisrund, wozu man sich besonderer kreisförmiger Scheiben von Pappe, oder Holz, oder Blech als Schablonen bedient. Man legt das Filtrum in einen Viertelkreis zusammen, öffnet es dann, wobei der größere Theil einfach, der kleinere dreifach zu liegen kommt, und bringt es so in einen Trichter. Ein solches Filtrum heißt ein glattes, im Gegensatze zu dem gefalteten. Mohr *) giebt eine besondere Regel für die Faltenbildung; die Hauptsache ist, daß das Papier von seinem Centrum aus fächerförmig geknifft wird. — Das glatte Filtrum gebraucht man namentlich dann, wenn es besonders darauf ankommt den Niederschlag möglichst vollkommen durch Auswaschen von dem Filtrate zu befreien. Das gefaltete Filtrum arbeitet rascher, da es sich nicht so innig an den Trichter anlegt; durch zwischen das glatte Papier und den Trichter geschobene Holzstäbchen oder Glasstreifen kann man jedoch dasselbe erreichen.

Zu größeren Filtrirapparaten nimmt man gut ausgelaugte und hierauf in reinem Wasser ausgewaschene Leinwand, wollene Zeuge, Haarsiebe, Filze, die gewöhnlich eine spitz zulaufende tütenförmige Gestalt erhalten und Spitzbeutel heißen. Diese Beutel befestigt man mit ihrem Rande auf einem viereckigen hölzernen Rahmen, Tenakel genannt, welcher hierzu mit scharfen Haken versehen ist.

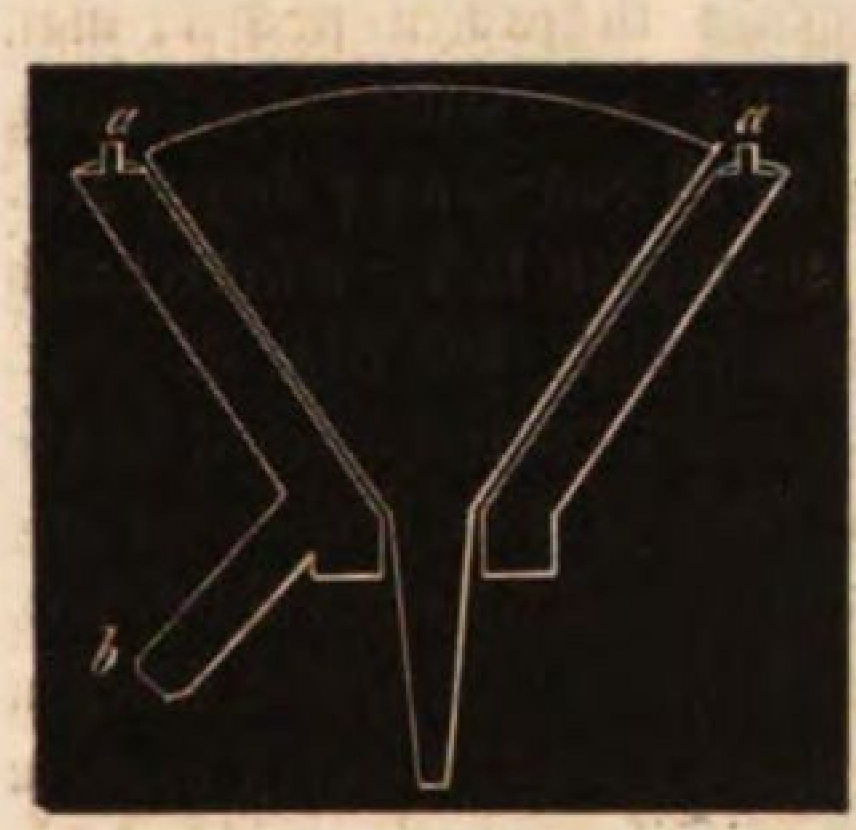
Sollen scharfe Säuren oder stark concentrirte alkalische Lösungen filtrirt werden, so füllt man in den Trichter reinen Sand oder gestoßenes Glas, wobei man die Regel befolgt unten erst einige größere Stücken einzulegen. Bei kleineren Operationen mit Stoffen, welche Papier zerstören würden, bildet man in der Tiefe des Trichters eine kleine Schicht von Platinschwamm oder von Asbest, den man vorher mit Salzsäure ausgekocht, dann gewaschen und hierauf ausgeglüht hat.

Die Trichter, deren man sich namentlich bei chemischen Untersuchungen bedient, sind zweckmäßiger von Glas, als von Porcellan, weil man sich von der Reinheit der Trichterröhre bei diesem nicht so leicht überzeugen kann, wie bei jenem. Platintrichter wendet man nur an bei Lösungen, welche freie Fluorwasserstoffsäure enthalten. Die Neigung der Trichterwände beträgt zu einander am vortheilhaftesten 60 Grad, weil dann ein glattes Filtrum gerade anliegt; unter 45° darf der Winkel nicht betragen. Hat man eine Flüssigkeit im siedenden Zustande zu filtriren, weil schon eine geringe Abkühlung die Ausscheidung der aufgelösten

---

*) Lehrbuch der pharmaceutischen Technik. S. 217.

Substanz zur Flasche heben würde, so benutzt man am besten einem von Plantamour angegebenen Wasserbadtrichter *). Es besteht derselbe aus einem trichterförmigen Gefäße mit doppelten Seitenwänden, ist allenthalben geschlossen und hat oben 2 Oeffnungen zum Eingießen der Füllung und zum Austreten des Dampfes: a a in beistehender Figur. An dem unteren Theile ist ein Ausläufer b, durch welchen mittelst einer untergesetzten Spiritusflamme die Füllung auf dem nöthigen Hitzgrade erhalten wird. Um sich von der Temperatur der Füllung zu überzeugen, bringt man in einer der Oeffnungen a ein Thermometer an. Man füllt das Innere, je nach dem verlangten Hitzegrade, mit Wasser oder Oel, und bringt dann den Trichter in das Innere. Beim Ausscheiden und Filtriren von Fetten und fetten Oelen, z. B. Ricinusöl hat sich dieser Apparat sehr zweckmäßig erwiesen.



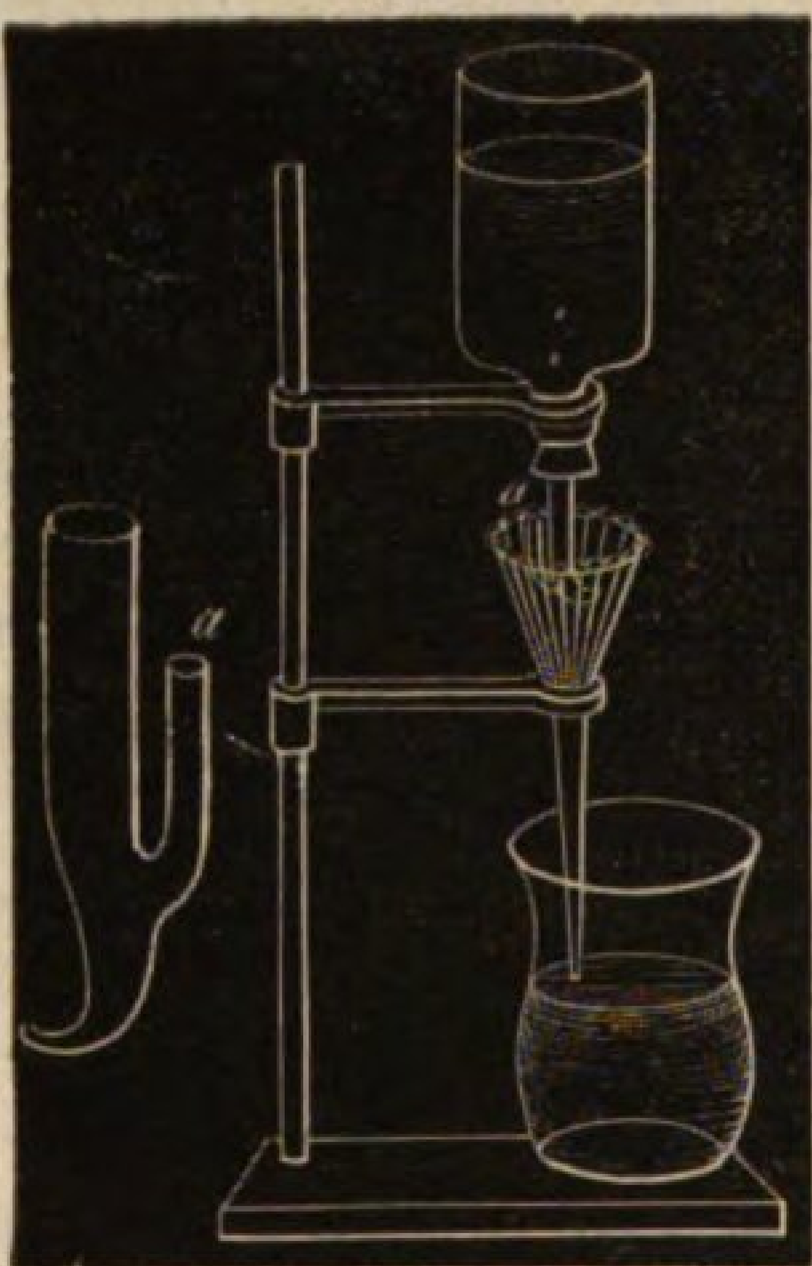
Den Trichter steckt man entweder in den Hals einer Flasche, welche zur Aufnahme des Filtrats bestimmt ist, oder in einen besonderen Halter, der entweder aus einem Brette mit einer oder mehreren Oeffnungen für den Trichterhals, oder aus einem Gestelle mit Ringen, welche man in beliebiger Höhe festschrauben kann, besteht. Den Strahl des Filtrats muß man, wenn es irgend möglich ist, um das Spritzen zu vermeiden, bei seinem Austreten aus dem Trichter gegen die Seitenwand des Gefäßes richten. Das Filtrirpapier muß man so kurz schneiden, daß es noch nicht über den Trichterrand reicht; und vor dem Beginne des Filtrirens ist dasselbe mit reinem Wasser durch eine Spritzflasche zu benetzen, weil sonst die trübe Flüssigkeit sofort in die Poren eindringt und dadurch die Arbeit verlangsamt. Auch läßt sich das feuchte Papier besser, als das trockene einpassen.

Um bedeutende Quantitäten Flüssigkeiten durch kleine Filtra zu filtriren, ohne immer aufs Neue nachgießen zu müssen, hat man verschiedene Vorrichtungen erdacht. Sehr bequem ist es, auf das mit Flüssigkeit gefüllte Filter eine mit derselben angefüllte Flasche zu stürzen, so daß die abwärts gekehrte Oeffnung etwa $1/2$ bis 1 Zoll unter dem Trichterrande steht. Man stellt die Flasche fest, indem man sie in den Einschnitt eines festgestellten Bretchens und dergleichen einsenkt, daß sie in ihrer Lage beharrt. Das Filtriren geht so beständig fort. Wenn das Filter so weit leer ist, daß die Oeffnung der Flasche über dem Niveau der Flüssigkeit steht, so läuft aus derselben nach, und sie hört auf zu laufen, so bald die Oeffnung wieder untergetaucht ist, so daß ein Ueberlaufen der Flüssigkeit nicht eintreten kann. Da hierbei leicht durch das Aufwallen, wenn Luft durch die Flüssigkeit streicht, trübende Theile in die Flasche kommen, was beim Aussüßen zu vermeiden ist, so verstopft Berzelius die Flasche mit einem durchbohrten Kork, der eine kleine an beiden Enden offene Glasröhre enthält, deren unteres Ende in eine kurze Spitze ausgezogen und zur Seite und etwas aufwärts gekrümmt ist. Die Glasröhre hat etwa $1/2$ Zoll oberhalb der Spitze eine Seitenöffnung mit einem

*) Handwörterbuch der Chemie von Poggendorff und Wöhler. Bd. III. — Poggend. Ann. Bd. LXVII. S. 417.

aufwärts gekrümmten Röhrchen a in Fig. I. Läuft die Flüssigkeit im Trichter bis auf einen gewissen Punkt ab, so dringt Luft durch die Seitenöffnung in die Flasche und die Flüssigkeit fließt aus derselben nach. — Anstatt dieser Vorrichtung kann man auch einen Kork doppelt durchbohren, in die eine Oeffnung ein gerades, in die andere eine in einen spitzen Winkel aufwärts gebogenes Röhrchen stecken; man hat dann dieselbe Wirkung. — Eine Abänderung dieser umgestürzten Flasche ist von Hauy angegeben. Was dieser in Metall ausführen ließ, wurde durch Berzelius in Glas angefertigt, wie Fig. II. zeigt. Ein Glasgefäß hat oben einen eingeschliffenen Glaspfropfen und unten an dem in eine Röhre verlängerten Boden einen zweiten ebenfalls eingeschliffenen, aber wie ein Hahn durchbohrten. Durch Schließen des unteren Pfropfens kann man das Gefäß bequem füllen, ohne es von dem Filtrum, in welches die untere Röhre taucht, abzunehmen; wird dann oben geschlossen und unten geöffnet, so wirkt der Apparat, wie die oben angeführte Flasche. Ist der Apparat von Metall, so muß an der Seite ein gläserner Flüssigkeitsstandmesser angebracht werden.

Fig. I.



Eine andere Vorrichtung ist das sogenannte Mariotte'sche Gefäß. b in Fig. III. ist eine oben und unten offene Röhre, welche in dem Pfropfen des Röhrenhalses verschoben werden kann, so daß das untere Ende d bis dicht an dem Boden des Gefäßes noch unterhalb des Niveau e c der Seitenöffnung, oder oberhalb dieses Niveau steht. Die Seitenöffnung muß so eng sein, daß die Flüssigkeit sich nicht theilen kann. Steht d noch unterhalb e c, so fließt durch c nichts von der in dem Gefäße enthaltenen Flüssigkeit aus; zieht man aber die Röhre empor, so daß d oberhalb e c sich befindet, so erfolgt der Ausfluß aus c um so schneller, je größer die Erhebung von d über e c ist. Man kann daher den Ausfluß so reguliren, daß durch denselben der Stand der Flüssigkeit in dem Trichter ungeändert bleibt. — Noch zweckmäßiger ist die in umstehender Fig. I. dargestellte Form, wo die nicht seitwärts, sondern unten abgehende Ausflußröhre umgebogen und mit der Oeffnung aufwärts gerichtet ist. — Eine andere Abänderung rührt von Gay-Lussac her und besteht aus einer Woulf'schen Flasche mit 2 Oeffnungen. In die eine Oeffnung kommt eine zweimal rechtwinkelig gebogene Glasröhre, deren innerer Schenkel fast auf den Boden des Gefäßes reicht, deren äußerer etwas längerer an der Spitze aufwärts gekrümmt ist. Die zweite Oeffnung enthält eine gerade Röhre, deren

Fig. II.

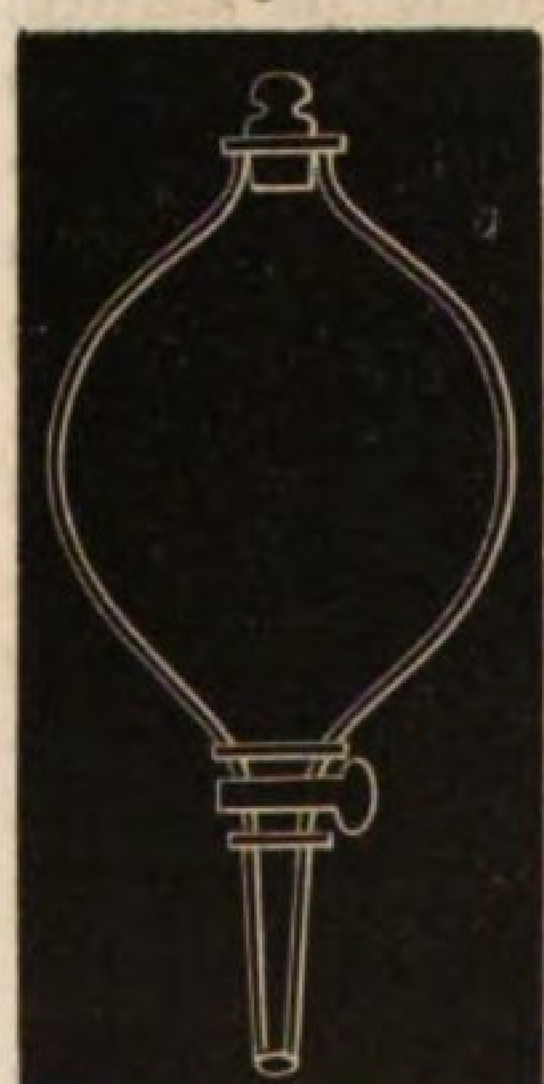
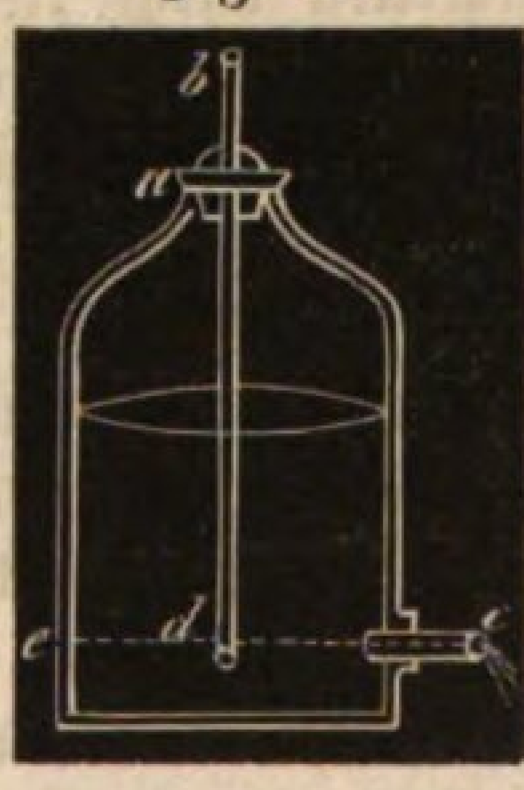


Fig. III.



unteres Ende etwas höher steht, als das Ende der Woulf'schen Röhre. Das Gefäß wird mit der zu filtrirenden Flüssigkeit angefüllt, alles mittelst durchbohrter Korke wohl geschlossen, und unter das äußere Ende kommt der Trichter zum Filtriren oder Aussüßen. Man bringt die Flüssigkeit durch Lufteinblasen in die gerade Röhre zum Laufen; die Luft dringt beim fortwährenden Abfließen durch die Röhre und ersetzt den leeren Raum in der Flasche. Die gebogene Röhre vertritt mithin nur die Ausflußröhre c in der Figur III. S. 202. — Hat man eine Flasche mit einer großen Halsöffnung, so kann man beide Röhren auch in einem und demselben Propfen anbringen und hat daher keine Woulf'sche Flasche nöthig.

Fig. I.

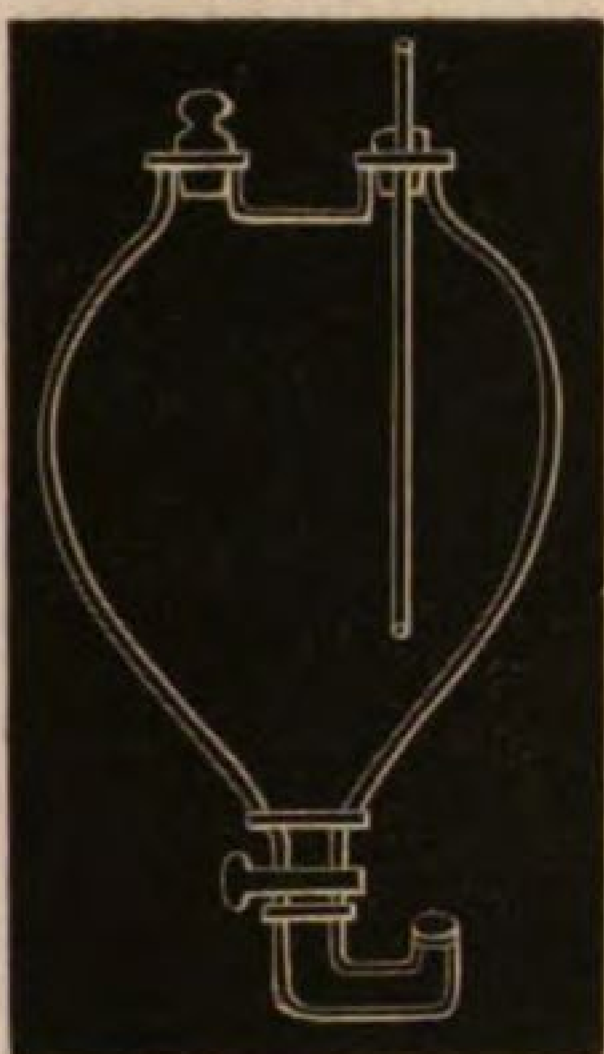


Fig. II.

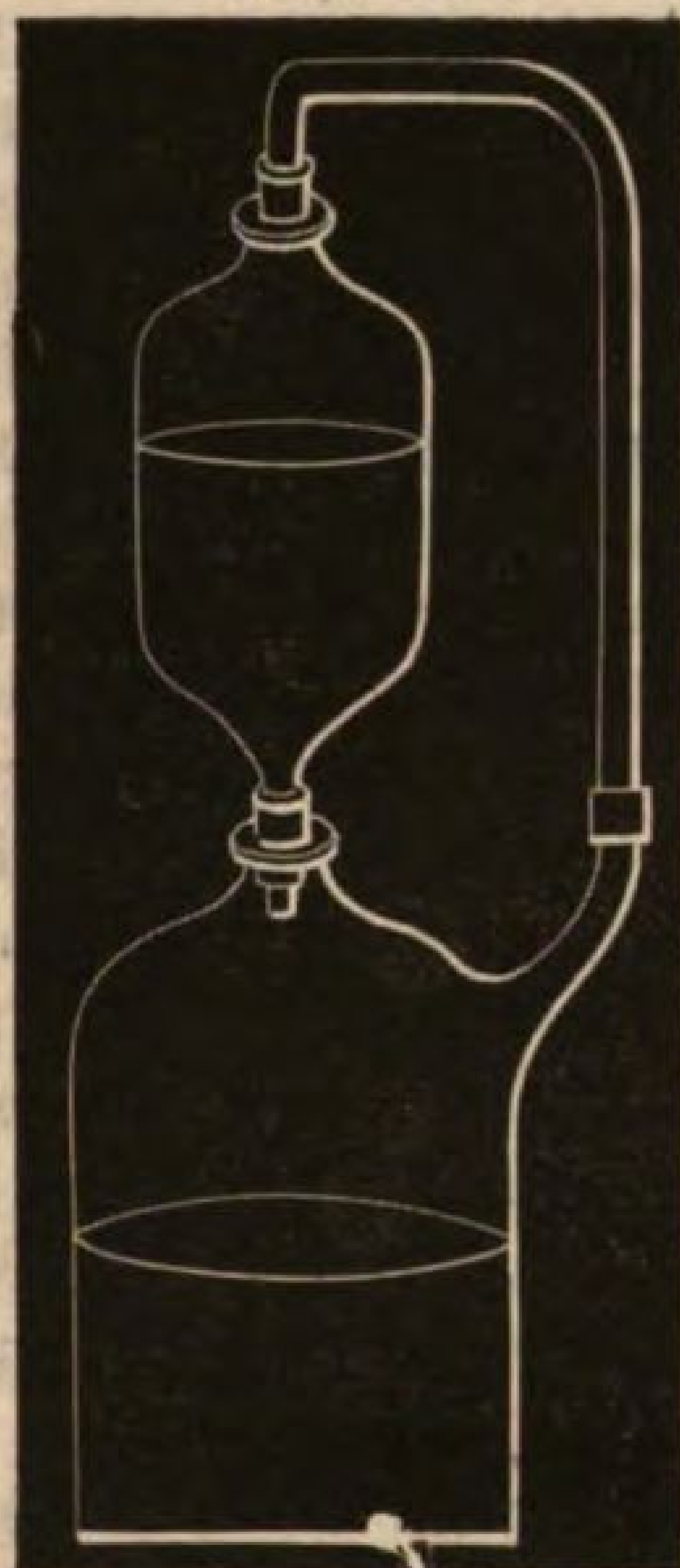


Fig. III.



Für Flüssigkeiten, welche frei verdunsten oder wegen ihrer hygroskopischen Eigenschaften die Feuchtigkeit aus der Atmosphäre aufnehmen würden, hat Donovan *) einem Filtrirapparat angegeben, dessen Einrichtung aus der beistehenden Fig. II. ohne weiteres klar ist, weshalb wir auch nur auf diese verweisen.

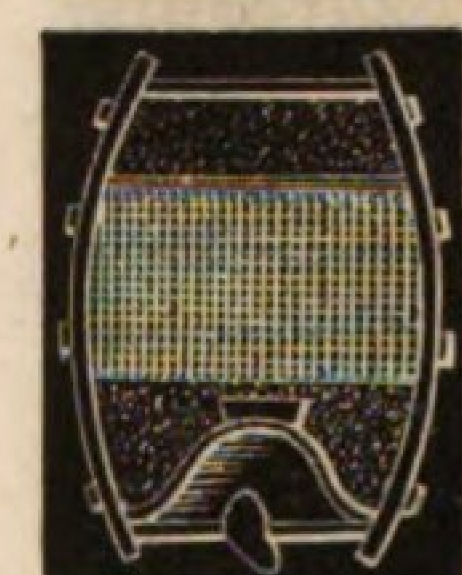
An Orten, wo man kein reines Tinkwasser erhalten kann, ist es sehr wünschenswerth, das Wasser auf eine leichte, bequeme und wohlfeile Art von den Unreinigkeiten, die ihm beigemengt sind, zu befreien. Man kann sich hierzu eines von Pfaff **) angegebenen Apparates bedienen.

Der ganze in beliebiger Größe nach dem jedesmaligen Bedürfnisse auszuführende Apparat besteht aus drei Stücken, welche am besten getrennt werden, sich aber leicht auseinander nehmen lassen, der Dauerhaftigkeit wegen von Eichenholz, zur Vermeidung eigener Fäulniß inwendig leicht verkohlt und zur größeren Haltbarkeit mit eisernen Bändern beschlagen sein müssen (Fig. III.). Es ist dann A ein gewöhnlicher Eimer, welcher oben mit einem Deckel zu größerer Reinlichkeit verschlossen sein kann, unten aber auf einem Brette feststeht, wodurch zugleich das Eindringen des Staubes verhütet wird. In diesen wird das zu filtrirende Wasser gefüllt, und läuft in sehr feinen Strahlen oder selbst nur tropfenweise durch drei in der Mitte dicht neben einander im Boden befindliche Löcher, welche durch gemeine

*) Ann. of Phil. N. S. XI. p. 115.
**) Ueber einfache und wohlfeile Wasserreinigungsmaschinen. Kiel 1813.

Badeschwämme verstopft sind. Unter diesem Gefäße befindet sich die eigentliche Filtrirtonne, welche indeß wenigstens 2 Fuß hoch sein muß, damit der vom Wasser zu durchlaufende Weg nicht zu kurz werde. In dem oberen beweglichen Deckel befinden sich einige Löcher um die Mitte herum, damit das durch die Schwämme dringende Wasser durchfließen könne, dessen Quantität davon abhängt, ob die Schwämme im Boden des Gefäßes A, deren Zahl nach Befinden bei größerem Durchmesser des ganzen Apparates auch vermehrt werden kann, fester oder loser eingedrückt sind. Die Tonne hat zwei eiserne Handhaben, um sie bequem abheben zu können, und ruhet vermittelst eines Bretes auf dem unteren Gefäße C, welches zur Aufnahme des filtrirten Wassers bestimmt, zum Ablassen desselben mit einem Hahne versehen und auf eine Unterlage gestellt ist, um das Wasser bequem in geeigneten Gefäßen auffangen zu können.

Bei den einzelnen Theilen ist dann noch folgendes zu bemerken. Das wesentlichste Stück des ganzen Apparates ist die eigentliche Filtrirtonne (s. beistehende Figur). Sie enthält zu oberst eine Lage Sand, welcher vorher geschlemmt und gewaschen sein muß, damit er keine lehmige und erdige Theile mehr enthält. Hierauf folgt eine starke Lage Kohlen von der Größe einer Wallnuß bis zu der einer Erbse, so daß die gröberen unten, die mittleren in der Mitte und die feinsten oben liegen. Sie können von jeder Art Holz sein, jedoch sind die glänzenden und klingenden die besten, auch müssen sie vorher gewaschen werden, bis sie das Wasser nicht mehr schwärzen. Vor allen Dingen hat man dahin zu sehen, daß sie völlig ausgebrannt sind, und thut daher wohl, sie in bedeckten hessischen Tiegeln oder eisernen Gefäßen unmittelbar vor dem Gebrauche auszuglühen, bis sie durchaus keinen Rauch mehr geben *). Unter den Kohlen liegt die dritte und unterste Lage, welche aus grobem, vorher gleichfalls rein ausgewaschenem Kiessande besteht, dessen Druck gegen den unteren im Boden der Filtrirtonne befindlichen Badeschwamm durch einen umgestürzten Topf verhindert wird. Daß endlich das durch die drei genannten Lagen filtrirte Wasser zuletzt durch den im Boden befindlichen Schwamm in das untere, zum Aufbewahrungsbehälter dienende Gefäß läuft, ist aus der Zeichnung für sich klar.



Sollen diese Maschinen die gewünschten Dienste leisten, so ist bei ihnen die

*) Muncke (Gehler's physik. Wörterbuch. N. B. Bd. IV. 1. Abth. S. 248) bemerkt hierbei: Da die Anlegung solcher Filtrirapparate in vielen sumpfigen Gegenden selbst auf dem platten Lande der Gesundheit wegen Bedürfniß werden kann, wo man indeß keine erfahrenen Techniker antrifft, so will ich hinzusetzen, daß das Ausglühen der Kohlen, als einzige bei der Construction vorkommende ungewöhnliche Arbeit doch sehr ieicht bewerkstellingt wird, indem die hessischen Tiegel aus jeder Apotheke zu haben sind, und zum Behuf dieses Glühens beliebig oft gebraucht werden können, wenn man sie nicht durch große Unvorsichtigkeit zerbricht. Bedeckt werden sie mit einem gewöhnlichen irdenen, am besten an der inneren Seite nicht glasirten, Deckel, und man thut wohl, diesem in der Mitte ein Loch zu geben, beim Auflegen aber die zwischenbleibenden Fugen mit Lehm zu verstreichen, und diesen vorher trocknen zu lassen, um die etwa entstehenden Risse erst auszubessern. Endlich kann jeder Hafner einen inwendig nicht glasirten Topf für diesen Zweck verfertigen, oder man kann ihn von Pfeifenthon herstellen lassen. Das Ausglühen der Kohlen geschieht nach dem Verhältniß der Größe dieser Töpfe eine halbe bis eine ganze Stunde in gewöhnlichem Kohlen- oder Torf-Feuer.

höchste Reinlichkeit erforderlich. Daher müssen die Schwämme vor ihrem Gebrauche ausgekocht und in warmem Wasser so lange ausgewaschen werden, bis das Wasser aus ihnen klar ausläuft. Ferner müssen das obere und untere Gefäß alle 8 bis 14 Tage ausgewaschen und gereinigt werden, und dieses erstreckt sich auch auf die dann herauszunehmenden 3 Schwämme des oberen Eimers, auch ist es gut, wenn der ganze Apparat auswärts mit Oelfarbe angestrichen ist. Die eigentliche Filtrirtonne dagegen hat eine ungleich längere Dauer, indem diese sich der Erfahrung nach auf 2 bis $2\frac{1}{2}$ Jahr erstreckt, ohne daß das filtrirte Wasser eine Abnahme der Wirkungsfähigkeit zeigt; jedoch muß die obere Sandlage alle drei Monate mit einem Löffel abgenommen und erneuert werden. Indem man aber viel reines Wasser zum Reinigen der Substanzen bei der Herstellung des Apparates gebraucht, das Bedürfniß desselben aber in den heißen Monaten am stärksten ist, weil dann das Wasser flacher Brunnen in solchen Gegenden leicht einen fauligen Geschmack annimmt, so kann die Herstellung oder Erneuerung des Apparates in solchen Jahreszeiten vorgenommen werden, in denen am meisten klares Wasser vorhanden ist.

Zur Reinigung des Wassers, ebenso des Weingeistes, des Oeles und dergl., wendet man auch ganz besonders vortheilhaft das sogenannte Aufwärts-Filtriren an. Die Apparate sind im Wesentlichen Real'sche Pressen (s. Art. Presse), nur ist die Röhre unten zweimal rechtwinkelig umgebogen, so daß das Gefäß aufwärts gerichtet ist. Da sich hierbei ein Theil des Trüben schon absetzt, ehe die Flüssigkeit durch die filtrirende Substanz dringt, so wird diese nicht zu sehr verunreinigt und braucht deshalb nicht so oft erneuert zu werden; außerdem kann man aber auch einen beliebigen hydrostatischen Druck anwenden und zu gleicher Zeit mehrere neben einander stehende Filter durch Zweigröhren speisen, welche von der Hauptröhre abgeleitet werden.

Auch in der Natur kommen Filtrirungen vor; namentlich erklärt sich die Bildung der Quellen und des Tropfsteinwassers zum Theil aus dem Durchseihen des atmosphärischen Wassers durch lockeres Erdreich und Sand. H. E.

Finsternisse (Mond- und Sonnenfinsternisse), s. Mond.

Firmament, s. Himmel.

Firniß. — Firniß nennt man im Allgemeinen eine Flüssigkeit, welche in dünnen Lagen auf der Oberfläche trockner Körper ausgebreitet, auf derselben bald trocknet und eine glänzende, harte und durchsichtige Schicht bildet, welche vom Wasser nicht aufgelöst wird. Im engeren Sinne versteht man darunter Leinöl, welches so zubereitet ist, daß es allein, oder mit Harzen gemengt einen glänzenden Ueberzug liefert, oder mit verschiedenen Farbstoffen gemischt, als Malerfirniß zu farbigen Verdeckungen dienen kann. Lösungen von Harzen in anderen Flüssigkeiten, als trocknenden Oelen, heißen Lackfirnisse, welche zu ähnlichen Zwecken, wie die vorigen angewendet werden. Lösungen von Harzen in Leinöl nennt man fette oder Oel-Lackfirnisse; diese werden häufig mit Terpentinöl verdünnt.

Die Kunst des Lackirens soll den Chinesen zuerst bekannt gewesen sein; nach Plinius hat jedoch schon Apelles seine Gemälde mit einem Lack (Atramentum) überzogen, welcher die Farben lebhafter hervortreten ließ und sie vor dem schädlichen Einflusse von Staub rc. schützte.

Das Leinöl, welches fast ausschließlich zu Firnissen verwendet wird, in wenigen Fällen auch Mohn- und Nußöl, trocknet zwar ohne weitere Zubereitung für sich durch Oxydation an der Luft, aber langsam; diese Eigenschaft wird aber befördert, wenn es längere Zeit erhitzt und der Luft ausgesetzt war, insbesondere wenn es mit etwas Bleiglätte (Bleioxyd) oder Zinkoxyd vermischt wird.

Zur Bereitung eines guten Firniß muß das Leinöl entweder durch langes Lagern oder durch vorherige Behandlung mit Wasser von eiweißartigen und schleimigen Substanzen befreit sein. Solch gereinigtes Oel wird, wenn der Firniß farblos sein muß, in thönernen Gefäßen, sonst aber in kupfernen Kesseln bis nahe zum Sieden erhitzt und kürzere oder längere Zeit bei dieser Temperatur erhalten. Die Absorption des Oeles von Sauerstoff aus der Luft ist bei höherer Temperatur viel bedeutender und wird befördert, wenn man das heiße Oel möglichst viel mit Luft in Berührung bringt. Das Verfahren beim Erhitzen richtet sich besonders auch darnach, ob man einen zähen und schnell trocknenden Firniß gewinnen will (wie er z. B. zur Druckerschwärze nöthig ist), oder nicht. — Die bleihaltigen Firnisse dürfen keine große Menge Bleiverbindungen enthalten, weil sie durch diese gallertartig werden und dann schlecht trocknen, auch an der Sonne nicht haltbar bleiben; die geeignetsten Mengen von Bleioxyd, oder Mennige, oder auch Bleiweiß auf 1 Pfund Oel sind von ersterem 3 Loth und von dem letzteren 4 Loth. Die Wirkung des Bleioxyds besteht nach Varrentrapp *) darin, daß die in den trocknenden Oelen enthaltene Margarinsäure gebunden, und dadurch eine trockene harzige Materie gebildet, somit also die Fettigkeit des Margarins vernichtet wird. Durch überschüssiges Bleioxyd wird ölsaures Blei gebildet, welches sich gallertartig im Oel auflöst und einen schlecht trocknenden, schleimigen Ueberzug liefert. — Sollen die Firnisse ganz farblos werden, wie es zur Benutzung für manche Farben nothwendig ist, so werden sie gewöhnlich in mit Glasdeckeln verschlossenen Blei- oder Blechkästen an der Sonne gebleicht.

Die bleihaltigen Firnisse werden vorzugsweise mit pulvrigen Farbstoffen gemengt zu Malerfarben, oder mit Harzen als sogenannte Lackfirnisse verwendet.

Die Lackfirnisse sind schwierig zu bereiten. Die gewöhnlichsten dieser Art sind Copal- und Bernsteinfirniß, Auflösungen von den betreffenden Harzen in Leinöl oder bleihaltigem Leinöl, die mit Terpentinöl verdünnt sind. Man bereitet sie im Allgemeinen auf die Art, daß man heißes präparirtes Leinöl allmälig in die geschmolzenen Harze unter beständigem Erhitzen gießt. Ist die Masse bis auf einen bestimmten Grad erkaltet (140°), so setzt man die entsprechende Menge heißes Terpentinöl hinzu; zuletzt wird filtrirt und das Product durch Monate langes Stehen vollständig geklärt. Zu farblosen Firnissen müssen natürlich die reinsten Materialien genommen und muß jede Bräunung beim Erhitzen verhütet werden. Einen schwarzen Firniß erhält man aus Asphalt.

Um sehr schnell trocknenden Firniß zu erhalten, wie er zu manchen Zwecken wünschenswerth ist, wählt man als Lösungsmittel der Harze nicht Leinöl, sondern reines Terpentinöl oder starken Alkohol, oder ein Gemenge von beiden, sehr selten Aether. Doch geben alle diese Lösungen einen nicht sehr dauerhaften Lack,

---

*) Handwörterbuch d. Chem. von Liebig, Wöhler und Poggendorf. Bd. III. Bd. 127.

welcher indeß auf diesem Wege am leichtesten ganz farblos erhalten werden kann. Einen zum Ueberziehen von Oelgemälden brauchbaren Lack giebt ganz reiner Mastix oder Damar und reines Terpentinöl. Auflösungen von Schellack in Alkohol dienen zum Poliren. Vielfach angewendet werden auch gefärbte Weingeist- oder Terpentinölfirnisse, welche man durch Vermischung mit organischen oder unorganischen Farbstoffen erhält.

Schießbaumwolle in Alkohol und Aether gelöst, liefert glasähnliche, firnißartige Ueberzüge, die von kochendem Wasser nicht angegriffen werden. H. Rt.

Fische, elektrische, (Pisces electrici, Poissons électriques, Trembleurs; Electric Fishes). Man kennt fünf Arten von Fischen, welche mit dem Vermögen begabt sind Elektricität zu entwickeln. Diese Fische sind 1) Raja torpedo; der schon den Alten bekannte im Mittelmeer häufig vorkommende Zitterrochen. 2) Gymnotus electricus, Zitteraal, der durch Richer in Cayenne im Jahre 1762 bekannt wurde. 3) Silurus electricus, Zitterwels, 1751 durch Adamson im Senegal, und bei der letzten Nigerexpedition auch im Niger gefunden. 4) Tetrodon electricus und 5) Trichiurus electricus.

Von diesen fünf Fischen sind nur zwei, nämlich der Torpedo und der Gymnotus genauer untersucht.

Was den Torpedo betrifft, so wird dieser schon im Alterthum erwähnt von Plato *), Aristoteles **), Plinius ***) und Plutarch ****).

Muschenbrök behauptete zuerst die elektrische Natur der Erschütterung, und Walsh *****) war der Physiker, welcher vor der Entdeckung des Galvanismus die elektrischen Fische am meisten studirte. Humboldt und Gay-Lussac †) lieferten genauere Beschreibungen der wesentlichen Umstände bei der Entladung des Torpedo. Die Italiener Redi ††) und Lorenzini †††) studirten zuerst die Anatomie dieser Fische, insbesondere die Einrichtung des elektrischen Organs. Diese Arbeiten wurden für alle elektrischen Fische weiter verfolgt von Hunter ††††) und Geoffroy St. Hilaire. Galvani und Spallanzani entdeckten noch den Einfluß der Nerven, des Gehirns und der Blutcirculation auf den Entladungsschlag des Torpedo. Die wichtigste Arbeit, die in neuerer Zeit über den Torpedo veröffentlicht worden ist, rührt von John Davy †††††) her. Ihm verdanken wir die Entdeckung der Einwirkung des

---

*) Plato's Gespräch Meno.

**) Aristoteles Hist. de animal. II. p. 13. IX. p. 37 und de part. animal. IV. p. 13.

***) Plinius Histor. natur. Lib. XXXII. p. 1.

****) De industria animalium. p. 246.

*****) On the electric property of torpedo. Phil. Trans. T. LXIII. p. 461 u. T. LXIV. p. 464.

†) Gilb. Ann. Bd. XXII. S. 1.

††) Fr. Redi Exper. Natur. Flor. 1666.

†††) Observazioni interno alle Torpedini da Stef. Lorenzini. Flor. 1666.

††††) Anatomical observations of the Torpedo by John Hunter: Phil. Trans. T. LXIII. p. 481.

†††††) Phil. Transact. 1832. p. 259 u. 1834 p. 541.

Stromes des Torpedo auf die Magnetnadel, seines Magnetisirungsvermögens und seiner elektrochemischen Wirkung.

Ferner stellten Untersuchungen über diesen Gegenstand an: Becquerel, Breschet, Colladon *) und besonders Matteucci **). Nach dem Vorgange von Humboldt lieferte auch Faraday ***) eine ausführliche Arbeit über den Gymnotus, an dem schon Walsh ****) einen Funken wahrgenommen hatte; darauf erhielt Linari einen solchen zuerst vom Zitterrochen mittelst eines Schraubendrahtes, der 577 Meter lang und aus fünf Drähten bestand, von denen der eine ein Stück Eisen umgab *****); später durch einen kürzeren Drath, der in eine Uförmige mit Quecksilber gefüllte Röhre tauchte, wenn das Quecksilber in Bewegung gesetzt wurde. Die Silberplatten, mit denen die Drähte verbunden waren, berührten dabei den Rücken und den Bauch des auf einer Glasplatte liegenden Zitterrochens. Chemische Zersetzungen wurden zuerst von John Davy bemerkt in Salzwasser, verdünnter Schwefelsäure und Jodkalium, später von Linari, Matteucci und durch den Gymnotus von Faraday. Magnetisirung einer in einem Schraubendrahte befindlichen Stahlnadel und Ablenkung der Galvanometernadel beobachteten John Davy, Linari, Faraday und Matteucci, Erwärmung vermittelst eines Harris'schen Luftelektrometers, John Davy und Linari.

Die Ablenkung der Magnetnadel, die stattfindet, sobald das Thier gereizt wird, zeigt, daß der sogenannte positive Strom vom Rücken durch den Draht zum Bauche geht.

Bei dem Gymnotus bewegt sich der Strom vom Schwanze nach dem Kopfe. Die Intensität des Schlages, welche nach den verschiedenen Individuen verschieden ist, vergleicht Faraday †) bei starken Schlägen einer großen schwach geladenen Leidner Batterie oder der einer guten Volta'schen Batterie von 100 oder mehr Plattenpaaren. Die in einem einzigen Schlage sich entwickelnde Elektricität vergleicht er der einer aufs Höchste geladenen Batterie von 3500 Quadratzoll Belegung auf beiden Seiten.

Faraday stellt eine Reihe sehr interessanter Betrachtungen an über die Verschiedenheit der Effecte die der Gymnote, je nach der verschiedenen Lage seines Körpers, durch seinen Entladungsschlag auf Körper hervorbringt, die sich neben ihm eingetaucht befinden. Der Erfolg muß nämlich ein ganz verschiedener sein, je nachdem der Gymnote entweder gerade ausgestreckt oder gekrümmt neben dem Gegenstande liegt, und ihm im zweiten Falle seine concave oder convexe Seite

---

*) Compt. rend. 1836. T. II. p. 490; Poggend. Ann. Bd. XXXIX S. 411.

**) Matteucci, essai sur les phénomènes électriques des animaux Paris. 1840. 8. und Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux par C. Matteucci, suivi d'études anatomiques sur le système nerveux et sur l'organe électrique de la Torpille par Paul Savi. Paris 1844. 8.

***) 15 series. Philosoph. Transact. 1839. p. 1.

****) Journal de physique 1776. Oct.

*****) Poggend. Ann. Bd. XXXVIII. S. 291.

†) Philosoph Trans. 1839. p. 1 und Matteucci, Traité des phénom. électr. des anim. p. 188.

zukehrt. Krümmt sich der Gymnote auf die Weise, daß er den eingetauchten Körper ganz umringt, so wird derselbe von einer viel größeren Quantität Elektricität getroffen, als in einem anderen Falle. Man sieht auch leicht ein, wie der Gymnote mit ein und derselben Stärke der Entladung ganz verschiedene Wirkungen hervorbringt auf verschieden große Fische, die er durch seinen Schlag tödten will. Die Elektricitätsmenge, welche der neben dem Gymnoten befindliche Fisch empfängt, wird nämlich um so bedeutender sein, je größer das Volumen des zu tödtenden Fisches ist. Faraday beschreibt sehr genau die Art und Weise, in der sich der Gymnote zur Tödtung seines Raubes anstellt. Ein lebender Fisch der ungefähr fünf Zoll lang war, wurde in das Wasserbehältniß geworfen, in dem sich der Gymnote befand. Augenblicklich krümmte sich der letztere zu einem Kreise um den Fisch, der einen Durchmesser desselben bildete. Die Entladung ließ nicht auf sich warten und der Fisch blieb unbeweglich wie vom Donner gerührt. Der Gymnote verschlang ihn alsbald. Darauf wurde ein viel kleinerer Fisch hineingeworfen; die Form die der Gymnote nun annahm verrieth augenscheinlich die Absicht, den Schlag zu verstärken, entsprechend den Gesetzen der Entladung unter Wasser. Es ist sehr wahrscheinlich, daß der Gymnot aus Instinkt seinem Körper die Stellung zu geben weiß, wie sie zu einem stärkeren oder schwächeren Schlage erforderlich ist. Auch muß die Empfindung die der Gymnote von dem Theile der Entladung hat, der durch ihn hindurchgeht, ihn über die Leitungsfähigkeit der Körper die ihn umgeben unterrichten.

Wenn der Gymnote mit den Händen berührt und angefaßt wird, giebt er stets eine große Anzahl auf einanderfolgender Schläge, wenn man ihn aber mit schlechten oder isolirten Leitern anfaßt und es taucht Jemand, ebenso wie vorhin die Hände daneben ins Wasser, so giebt er nur ein oder zwei schwache Schläge. Auch Matteucci *) hat dieselbe Erfahrung an dem Torpedo gemacht.

Humboldt **) erwähnt, daß der Gymnotus die furchtbarsten Schläge ertheilt ohne die Augen, den Kopf und die Flossen im Mindesten zu bewegen, während der Zitterrochen die Brust convulsivisch bewegt so oft er einen Schlag giebt. Dabei findet aber eine Vergrößerung seines Volumens, wie Matteucci ***) gezeigt hat, nicht statt. Schließt man den Fisch nämlich in ein mit Wasser gefülltes Gefäß ein, welches oben in eine enge Glasröhre endigt, so bleibt, wenn der Fisch eine Erschütterung ertheilt, das Niveau des Wassers in dieser Röhre unverändert. Durch wiederholte Entladungen erschöpfen sich die elektrischen Fische.

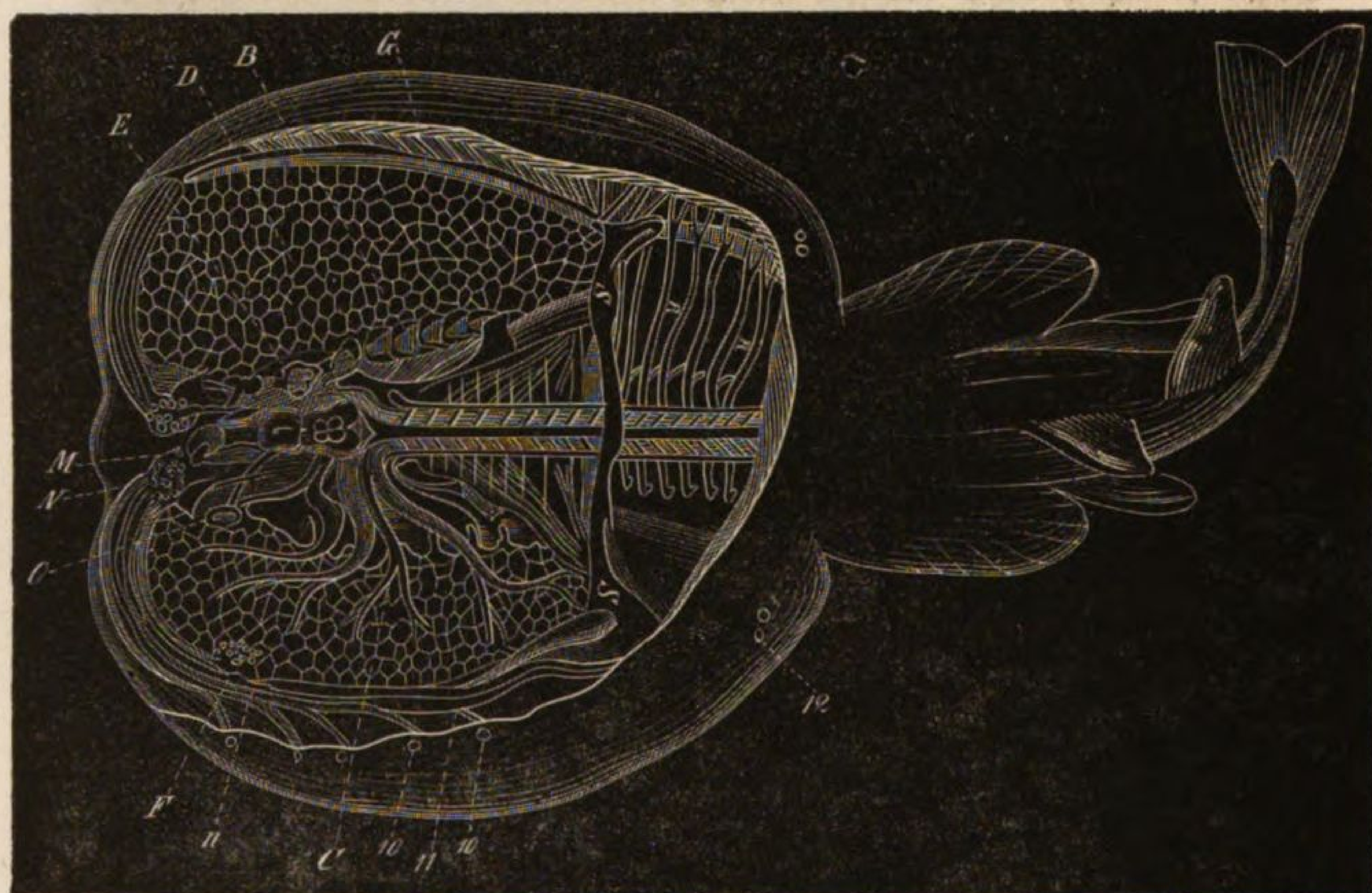
Das Organ nun, in welchem sich die Elektricität entwickelt, hat bei allen elektrischen Fischen, obschon Verschiedenheiten in der Form, Größe und Anordnung stattfinden, doch im Wesentlichen dieselbe Beschaffenheit. Dasselbe ist am genauesten am Zitterrochen erforscht worden, mit dem wir daher die Beschreibung beginnen wollen.

*) Matteucci, Traité des phénom. électr. des animaux. p. 191.

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. XI. p. 429.

***) Traité des phénom. électr. des animaux. p. 146.

Beistehende Figur stellt einen Zitterrochen dar (Torpedo galvani. Risso), auf der oberen Seite geöffnet. R, R ist der rücklaufende Nerv, D, C sind die elektrischen Organe, D das rechte elektrische Organ, von dem nur eine oberflächliche Schicht weggenommen ist, C das linke, von dem die ganze obere Hälfte abgenommen ist, um die verschiedenen Nervenstämme bloszulegen, welche sich darin vertheilen, M sind die Nasenlöcher, O die Augen, N eine Gruppe schleimführender Organe, F eine seitliche Gruppe derselben Organe, 11 und 11 Absonderungs-



canäle der schleimführenden Organe, 10 und 10 Löcher, in welchen die eben erwähnten Canäle an der Oberhaut ausmünden. 12, 12 die Mündungen der beiden großen schleimführenden Canäle, die das Thier der ganzen Länge nach durchlaufen.

S, S der Querknorpel, G Knorpel der Brustflosse, B kleine Kiemenhöhlungen, E Kiemenlöcher. Paul Savi *) hat die neuesten und genauesten anatomischen Untersuchungen über den Zitterrochen geliefert. Die elektrischen Organe sind mit einer gemeinsamen Decke überzogen, vergleichlich der, welche alle übrigen Theile des Körpers bedeckt. Wenn man diese Decke wegnimmt sieht man ein aponeurotisches Gewebe, ziemlich stark, und aus verwobenen Fasern gebildet. Es heftet sich an die Wände der Höhlung, die das Organ einschließen.

Man weiß schon lange und besonders seit Jacopi **), daß jedes Organ aus einem Haufen von sechsseitigen Säulen besteht, die größtentheils senkrecht

---

*) Matteucci, Traité etc. Anhang von Paul Savi.

**) Jacopi, Elementi di Fisiologia e Notomia comparata 1810.

stehen, und zwar so, daß von ihren Enden, das eine der Bauchseite, das andere der Rückenseite des Fisches entspricht.

Jede dieser kleinen Säulen ist in einer Höhlung eingeschlossen, welche durch ein ähnliches aber viel feineres und dünneres aponeurotisches Gewebe gebildet wird als das ist, welches das ganze Organ einschließt. Die Substanz, welche die kleinen Säulchen bildet, erscheint auf den ersten Anblick als ein gelatinöser Schleim. Sie ist zitternd, von einer graulichweißen Farbe, durchscheinend und mit bloßen Auge gesehen, homogen. Das Mikroscop ergiebt aber, daß sie aus einer Unzahl sehr dünner Häute besteht, die transversal zur Axe der kleinen Säulen über einander geschichtet sind. Mit den Rändern hängen alle Häutchen zusammen und zwischen ihnen befindet sich etwas helle Flüssigkeit.

Die Zahl der Flächen der prismatischen Säulchen ist in der Regel sechs, obgleich dies nicht immer der Fall ist; denn da diese Seiten durch den Druck entstehen, den die Säulen seitlich auf einander ausüben, so begreift man leicht, daß an den Seiten der Organe, wo der Druck nicht allseitig ist, die Anzahl der Flächen geringer und überdies veränderlich sein muß, so wie auch die Größe und Form der Säulen weniger regelmäßig ist. Die Säulen in der Mitte des Organs und die nach den Kiemen zu gelegenen, sind länger als die peripherischen, und während die in der Mitte gelegenen vollkommen senkrecht stehen, so sind die äußeren, wegen des Contacts mit anderen Theilen geneigt oder gekrümmt.

Die Anzahl der Prismen, die ungefähr die Stärke eines Gänsekiels haben, beträgt, wenn man sich auf Hunter und Delle Chiaje verläßt, 470 und nach des letzteren Zeugniß ist die Anzahl der Prismen constant bei allen Individuen derselben Gattung, seien sie jung oder erwachsen.

Die Nervenstränge des achten Paars, welche sich im elektrischen Organ vertheilen, entspringen in einem anderen Thieren gänzlich fehlenden Theile des Gehirns, den sogenannten elektrischen Lappen, einem vierten Lappenpaare des Gehirns.

Matteucci *) hat gründliche Untersuchungen angestellt über die Verrichtungen des elektrischen Organs, seiner Nerven und der elektrischen Lappen, und resumirt die Resultate seiner Arbeit in folgenden Punkten.

1) Findet sich im Organ, außer wenn es sich entladet, keine Spur freier Elektricität.
2) Kann man Haut, Muskeln, die Hülle der Organe, ja einen Theil der Organe selbst zerstören, ohne daß der Entladungsschlag aufhört oder geschwächt wird.
3) Narkotische Gifte bewirken starke Entladungsschläge.
4) Die Irritation der elektrischen Lappen des Gehirns bewirkt sehr starke elektrische Schläge, selbst wenn das Thier schon lange todt zu sein scheint.
5) Die Thätigkeit des elektrischen Lappens dauert fort, wenn man ihn auch von den übrigen Gehirnlappen und dem Rückenmark getrennt hat.
6) Die Reizung der anderen Lappen des Gehirns und des Rückenmarks bewirkt keine elektrischen Schläge.
7) Man kann die stärksten Muskelcontractionen, in den Theilen, die das

*) Matteucci, Traite etc. p. 179.

elektrische Organ umgeben, beobachten, ohne daß dadurch eine elektrische Entladung des Organs veranlaßt würde.

8) Die Entladung wird hervorgebracht durch Irritation der Nervenstämme, die sich im elektrischen Organ verzweigen, auch wenn diese schon vom Gehirn getrennt sind.

9) Eine Verwundung des elektrischen Lappens bringt nicht nur allemal einen elektrischen Schlag hervor, sondern es wird dadurch auch zuweilen die gewöhnliche Richtung der Entladung umgekehrt.

10) Wirkt ein elektrischer Strom auf die Nerven des Organs, so entsteht ein Entladungsschlag des Organs.

Hierauf gestützt macht nun Matteucci nachstehende Schlüsse.

a) Die elektrische Entladung des Torpedo und die Richtung der Entladung hängen vom Willen des Thieres ab, welcher zu dieser Function seinen Sitz im elektrischen Lappen des Gehirns hat.

b) Die Elektricität wird in dem Organe des Torpedo entwickelt, welches gewöhnlich das elektrische genannt wird, und zwar unter Einfluß des Willens.

c) Jeder äußere Einfluß der auf den Körper des lebenden Torpedo wirkt, und welcher die Entladung hervorruft, wird vom Nerven des gereizten Punktes auf den elektrischen Lappen übertragen.

d) Jede Irritation des vierten Lappens und seiner Nerven, bedingt kein anderes Phänomen als die elektrische Entladung. Man kann daher diesen Lappen und seine Nerven, den elektrischen Lappen und die elektrischen Nerven nennen.

e) Läßt man einen elektrischen Strom auf den elektrischen Lappen und die elektrischen Nerven wirken, so bringt dieser Entladung des Organs hervor, und diese Wirkung des Stromes dauert fort, wenn lange jeder andere Reiz unwirksam geworden ist.

f) Alle Umstände, die die Function des elektrischen Organs modificiren, bringen, wenn sie auf Muskeln wirken, an den Funktionen dieser ebenfalls Veränderungen hervor.

Obwohl die Thätigkeit des elektrischen Organs ohne Zweifel bedingt ist durch eine gewisse Thätigkeit der Nerven, so kann doch nicht behauptet werden, daß die letztere allein die Quelle der elektrischen Entladung und das Organ nur ein Verstärkungsapparat sei, sondern es ist immer noch möglich, daß die verschiedenen Theile des Organs erst durch die Nerventhätigkeit in solche Zustände gerathen, worin sie eben die Fähigkeit haben, Elektricität zu entwickeln.

Bei dem Zitterrochen erstrecken sich die elektrischen Organe von dem Vorderende bis zu dem Querknorpel, der die Brust von dem Bauche trennt, und füllen die ganze Dicke des Thieres aus. Dagegen liegen bei dem Zitteraal die elektrischen Organe im Schwanze, dessen Länge drei Viertel von der des ganzen Thieres beträgt, die nach Humboldt bisweilen sechs Fuß erreichen soll.

Hunter *) hat die genaueste Beschreibung und Abbildung des elektrischen Organs des Zitterals geliefert.

---

*) Account of the Gymnotus electricus. Phil. Trans. Vol. LXV. T. II. p. 395.

Der Zitteraal hat zwei Paar elektrische Organe, ein größeres oberhalb und ein kleineres unter demselben gelagert. Jenes macht die Hauptdicke des Schwanzes aus und erstreckt sich vom Leibe bis zum Ende des letzteren; jedes einzelne dieses oberen größeren Paars ist am breitesten nach vorn, wo es sich gleichsam am meisten seitwärts ausdehnt, wird nach hinten schmäler und endigt sich fast in eine Spitze. Die beiden Organe, die dieses Paar bilden, sind oberwärts durch die Rückenmuskeln von einander getrennt, welche ihre oberen Ränder in einer beträchtlichen Entfernung von einander halten; unter diesen und gegen die Mitte zu sind sie durch die Schwimmblase von einander geschieden und an ihrem unteren Theile durch eine membranöse Scheidewand. Das kleinere Organ liegt längs dem unteren Rande, und hat beinahe dieselbe Ausdehnung in der Länge wie das größere Organ. Das vordere Ende jedes einzelnen Organs (die beide zusammen das kleinere Paar bilden) beginnt beinahe in gleicher Linie mit dem größeren. gerade da, wo die lange Schwanzflosse des Thieres ihren Anfang nimmt, und endigt nahe am Ende des Schwanzes, wo auch das größere aufhört. Es hat eine dreieckige Figur, gemäß den Theilen in welchen es liegt. Sein vorderes Ende ist das schmälste, dann wird es breiter, in der Mitte ist es am dicksten, und von da an wird es dünner, bis es am Ende in eine Spitze ausläuft. Die beiden kleineren Organe sind von einander durch die mittleren Muskeln getrennt, und durch die Beine in welchen die Gräten der Flossen artikulirt sind.

Die Structur dieser Organe erscheint sehr einfach und regelmäßig, und durchaus der beim Zitterrochen analog. Sie bestehen aus flachen Wänden oder Theilungen, die fast parallel mit der Länge des Thieres gehen und aus dünnen Häuten bestehen. Zwischen diesen Wänden liegen, senkrecht auf der Länge des Thieres, dünne parallel geschichtete Häutchen, ähnlich denen, die die Säulen des Organs beim Torpedo ausfüllen. Der Abstand der Längswände von einander ist wahrscheinlich nach der Größe der Fische verschieden. Bei einem Fische von 2 Fuß und 4 Zoll Länge waren sie $^1/_{27}$ Zoll von einander entfernt, und die Breite oder vielmehr die Höhe des ganzen Organs, betrug da, wo es am breitesten war, etwa 1,25 Zoll und in diesem Raume fanden sich 34 Längswände neben einander.

Zu diesem Organe führen Nerven aus dem Rückenmark, welche paarweise zwischen den Rückenwirbeln heraustreten; sie erstrecken sich in ihrem Fortgange sowohl auf die Muskeln als auf die Haut, und verlieren sich in sehr feine Verzweigungen in den elektrischen Organen.

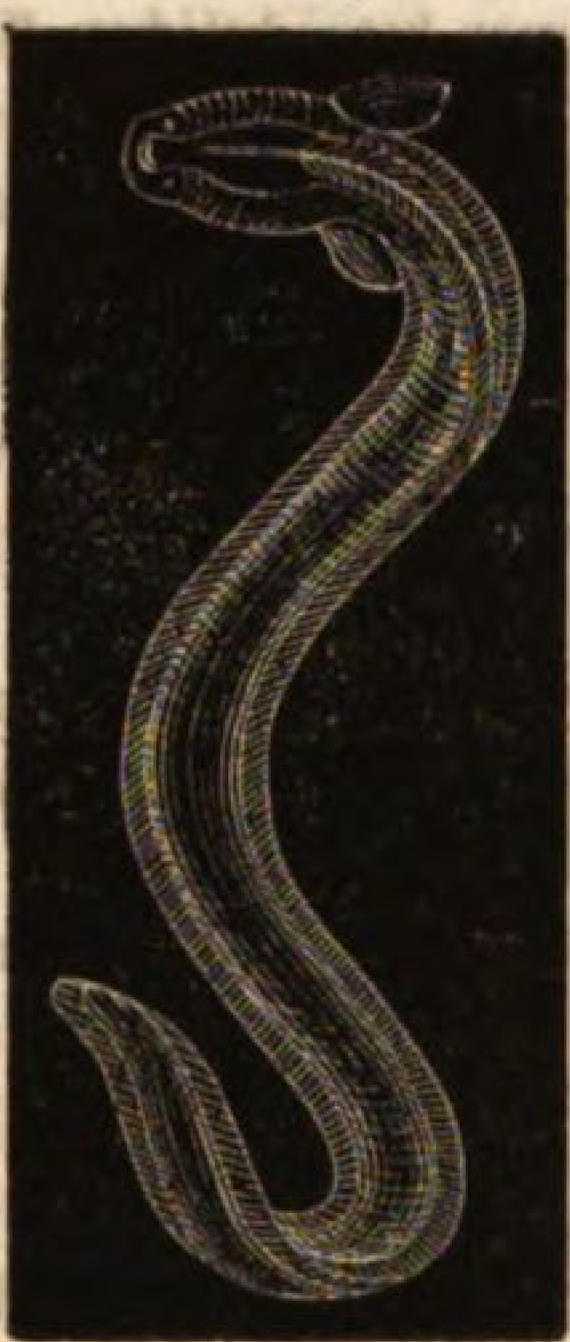
Umstehende Figur I. zeigt das äußere Aussehen eines Zitteraals und die Figur II. stellt einen Querschnitt in der größten Dicke des Schwanzes des Zitteraals dar. Es bedeuten: g g die beiden großen elektrischen Organe, wo die feinen Striche die Durchschnitte der zahlreichen Längenwände deutlich machen, p p die beiden kleineren elektrischen Organe, v die Schwimmblase, m m m m Längenmuskeln, n die Wirbelsäule, d die äußere Oberfläche der Haut von der einen Seite und c die Afterflosse.

Viel einfacher als bei dem Torpedo und dem Gymnotus ist der Bau des elektrischen Organs bei dem Zitterwels (Silurus electricus) nach Geoffroy's*)

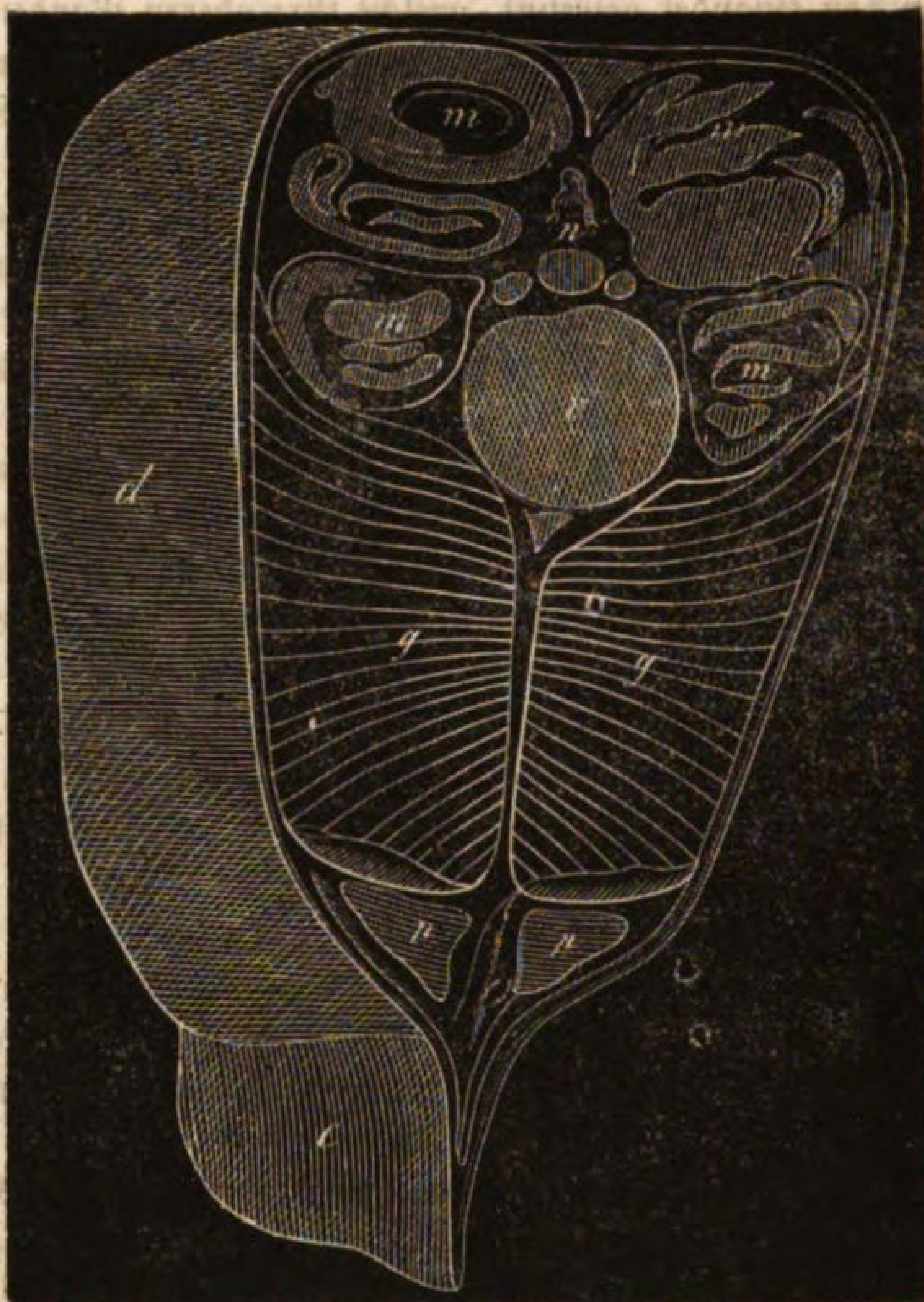
*) Annales du Museum d'hist. nat. T. I. p. 392, übersetzt in Gilb. Ann. Bd. XIV. S. 397.

Untersuchungen. Dasselbe liegt, indem es den ganzen Körper umgiebt, unmittelbar unter der Haut, und ist aus einer beträchtlichen Schicht Zellgewebe gebildet. welches so fest und dicht ist, daß es auf den ersten Blick einer Lage Speck vergleichbar erscheint. Bei genauer Betrachtung zeigt es sich jedoch aus wirklich sehnichten

I.



II.



Fasern zusammengesetzt, die sich überall durchkreuzen und so ein Netz bilden, dessen Geflecht man nur durch eine Lupe deutlich sehen kann. Die kleinen Zellen oder Maschen dieses Netzes sind mit einer eiweiß- oder gallertartigen Flüssigkeit ausgefüllt, während ihre Verbindung mit den inneren Theilen durch eine sehr starke Sehnenhaut verhindert ist, die sich über das ganze elektrische Organ ausbreitet, und demselben so fest anhängt, daß man sie ohne Gefahr des Zerreißens nicht davon trennen kann. Dagegen ist ein Zusammenhang dieser Sehnenhaut mit den Muskeln nur durch wenig lockeres Zellgewebe vermittelt. Die Nerven, welche zu diesem Organe führen, kommen aus dem Gehirne und sind dieselben, die nach Cuvier bei allen Fischen unmittelbar unter die Seitenlinie gehen und analog den Nerven des achten Paares (Nervus vagus) bei den höheren Thieren. Im Zitterwelse haben aber diese beiden Nerven des achten Paares einen eigenthümlichen Verlauf und eine ausgezeichnete Dicke. Sie nähern sich einander bei ihrem Austrite aus dem Hirnschädel und steigen zum Körper des ersten Wirbelbeins zurück, durch welches sie hindurchgehen. Sie dringen jeder durch eine eigene Oeffnung in ihn ein und gehen dann beide auf der entgegengesetzten Seite durch eine gemeinschaftliche Oeffnung heraus, entfernen sich plötzlich und gehen unter die

Seitenlinie herab, dann laufen sie zwischen den Bauchmuskeln und der sehnichten Membran, welche sich über das elektrische Netz ausbreitet, hin, und dringen endlich unter die Haut mittelst großer Aeste, die rechts und links vom Stamme des Nerven abgehen. An jeder Seite sind 12 bis 15 solcher Aeste, welche die Sehnenhaut bis zur Mitte des elektrischen Gewebes durchbohren, und sich dann durch dasselbe verbreiten.

Es ist bereits hervorgehoben, daß diese Organe ungeachtet der Verschiedenheit nach dem äußeren Anblick doch in mehr als einer Hinsicht Aehnlichkeit und im Wesentlichen eine gleichartige Structur haben. Die elektrischen Fische zeichnen sich vor anderen durch ausgebreitete Sehnenhäute aus, deren Zellen von einer eigenthümlichen eiweiß-gallertartigen Flüssigkeit erfüllt und die mit mehr und ansehnlicheren Nerven als irgend ein anderes Organ versehen sind. Bei dem Torpedo und dem Gymnoten fällt überdies noch eine besondere Regelmäßigkeit in der säulenförmigen Anordnung der Zellen auf (bei dem Ersteren liegen die Längsaxen der Säulen in der Richtung vom Bauch zum Rücken; beim Letzteren in der Richtung vom Kopf zum Schwanze), worin eben eine gewisse Aehnlichkeit mit der Volta'schen Säule hervortritt. We.

Fisteltöne, s. Stimme.

Fixsterne. Seitdem man die Veränderlichkeit der Stellung einiger Gestirne gegen die übrigen klar erkannt, und deren periodische Wiederkehr an ein und denselben Ort des Himmels beobachtet hatte, datirt sich die Eintheilung der Gestirne in Planeten *) und Fixsterne. Die Unbeweglichkeit der Fixsterne bezieht sich der Vorstellung gemäß, wovon sie den Namen haben, nur auf die gegenseitige Stellung und es bleiben daher unberücksichtigt sowohl die tägliche scheinbare Umdrehung des Himmels, als auch die jährliche scheinbare Bewegung der Gestirne von Osten nach Westen, in Folge deren sie jeden Tag der Sonne um ein gewisses Stück voraneilen, als endlich auch alle übrigen gemeinsamen scheinbaren Bewegungen von längerer Periode, wie z. B. die Veränderungen ihrer Rectascension und Declination in Folge der Präcession der Nachtgleichen &c. Nachdem man ferner die nähere Beziehung der Planeten zur Sonne erkannt hatte, insbesondere, daß dieselben wie der Mond nicht mit eigenem sondern von der Sonne ausgehendem, von ihnen zurückstrahlendem Lichte glänzen, verband man auch mit dem Begriffe eines Fixsterns den eines mit selbstständigem Lichte leuchtenden Gestirns. Die Vorstellung von der Unveränderlichkeit der gegenseitigen Lage der Fixsterne hat sich in neueren Zeiten als unhaltbar herausgestellt, dagegen ist die selbstständige Lichtentwickelung wenigstens bei mehreren Fixsternen in sofern unmittelbar bestätigt worden, als man ihr Licht dem von unserer Sonne ausgehenden analog sich verhaltend und als directes Licht merklich verschieden von dem der Planaten und Cometen gefunden hat. Aus diesem Grunde und in Betracht, daß man von allen Gestirnen nur durch das eigene oder zurückgestrahlte Licht eine unmit-

---

*) *Ἄστρα πλανώμενα* oder *πλανητά*, und *ἀπλανεῖς ἀστέρες* oder *ἀπλανῆ ἄστρα*, Plat. Tim. p. 40. Stob. Eclog. phys. p. 582. Stellae errantes und inerrantes, Cic. d. nat. Deor. II. p. 21. astra fixa, Manil. Aristoteles nennt die Fixsterne *ἄστρα ἐνδεδεμένα* Aristot. d. Coelo II. 8. p. 289. Dagegen Cic. a. a. O. neque coelo inhaerentes etc.

telbare Wahrnehmung erhält (im Holländischen heißen daher die Gestirne auch ganz bezeichnend Lichter oder Leuchten des Himmels) *), während auf eine Massenhaftigkeit derselben nur nach dem Gesetze der Trägheit zurückzuschließen ist: würde die selbstständige Lichtentwickelung der Fixsterne, gleich wie bei unserer Sonne als charakteristisches Merkmal derselben angesehen werden müssen, ohne Rücksicht auf das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Eigenbewegung. Hierbei ist jedoch nicht die Möglichkeit zu übersehen, daß es auch dunkle Weltkörper geben kann, die ihrer Massenhaftigkeit wegen und aus anderweitigen Gründen gleichfalls zu Fixsternen zu zählen sein würden, obwohl man eine directe Kunde von denselben schwerlich erlangen wird. In allen Fällen wird man ohne Rücksicht auf diese oder jene wesentlichen oder zufälligen Merkmale sicher gehen, die Fixsterne als die nicht zu unserem Sonnensysteme gehörigen oder außerhalb der Attractionssphäre unserer Sonne liegenden Weltkörper zu erklären. Jedes nähere Attribut derselben muß streng genommen für jeden einzelnen erwiesen werden; wenigstens ist immer dabei zu berücksichtigen, ob man nicht aus einer gewissen Neigung, die Fixsternwelt nach dem Model des näher bekannten Sonnensystems eingerichtet zu betrachten, diesen Weltkörpern einzeln oder in ihrer Gesammtheit Eigenschaften willkürlich beigelegt und Ansichten darüber aufgestellt hat, für welche es weder eine Nothwendigkeit, noch hinlängliche auf Beobachtungen gestützte Beweisgründe giebt.

Betrachten wir die Fixsterne erst ihren äußeren Erscheinungen nach als leuchtende Körper und dann nach ihrem gegenseitigen Verhältnisse zu einander und zu unserem Sonnensystem.

Nach optischen Beziehungen sind die Fixsterne leuchtende Körper, deren Licht sich für das bloße Auge höchstens durch ein besonderes Funkeln (Hin- und Herzittern im Auge, Scintillation) von dem der Planeten unterscheidet **). Da die Erscheinung des Funkelns in einigen tropischen Ländern häufiger und deutlicher hervortritt und oft mit einer Veränderung der Farbe verknüpft ist, so ist es wahrscheinlich, daß bemerkte Unterschiede im Funkeln weniger auf besonderen Eigenthümlichkeiten des Fixsternlichtes beruhen, als vielmehr, daß dieses Phänomen meist in der verschiedenen Beschaffenheit der Luftschichten begründet ist, zumal da noch anderweitige Nebenumstände dasselbe auf eine Interferenz des Lichtes zurückzuführen scheinen. Durch hinlänglich starke Fernröhre dagegen erscheinen wenigstens die älteren Planeten als Scheiben mit wahrnehmbaren Durchmessern, während die Fixsterne sämmtlich, auch bei Anwendung der stärksten Vergrößerungen, blos als leuchtende Punkte wahrgenommen werden und nur durch die Stärke ihres Glanzes und zum Theil durch ihre Farbe zu unterscheiden sind. Die bedeutende Intensität des Lichts mit der die Fixsterne trotz ihrer ungeheuren Entfernung (s. unten) leuchten, macht es nun schon wahrscheinlich, daß sie eignes Licht ausstrahlen. Dieser Unterschied der Lichtintensität ist besonders auffallend, wenn man die des Nachts mit bloßem Auge sichtbaren Fixsterne bei Tage mit dem Fernrohre

---

*) Vergl. Enke's Vorwort zur Uebers. von Kaiser's popul. Astronomie.

**) Schon den Alten ist dieser Unterschied auffällig gewesen; Aristoteles, d. Coel. II. 8. sucht diese Erscheinung mit der damaligen Ausströmungstheorie (vergl. Eucl. Opt.) zu erklären.

beobachtet. Dieselben erscheinen dann als hell leuchtende, weiße Punkte und die größeren sogar mit lebhaftem Glanze. Die Planeten dagegen lassen sich schwieriger auf diese Weise beobachten und werden dann immer als sehr matte, blasse Scheiben gesehen.

Das Licht der Planeten und Trabanten zeigt seinen Ursprung von der Sonne dadurch an, daß dasselbe durch ein Prisma zerlegt dieselben dunklen Linien im Spectrum enthält, wie das auf gleiche Weise zerlegte Sonnenlicht. Man hat nämlich beobachtet, daß die dunklen Linien des prismatischen Farbenbildes (m. s. d. Art. Farbe, Bd. III. S. 25) von verschiedenen Lichtquellen nach Zahl, Breite, Intensität und Stellung verschieden sind, und schließt daher rückwärts aus einem gleichmäßigen Auftreten derselben dunklen Linien auf Gleichartigkeit des Lichts und der Lichtquelle. Das Licht der Fixsterne zeigt zwar ebenfalls in dem durch ein Prisma erzeugten Spectrum dunkle Linien aber nicht in derselben Anzahl, Breite und an denselben Stellen. Das Licht des Sirius z. B. hat drei breite dunkle Streifen, einen im Grünen, und zwei im Blauen. Pollux giebt viel schwächere Linien.

Eine nähere Entscheidung, ob ein Gestirn mit eigenem, directem, oder mit fremdem, reflectirtem Lichte leuchtet, giebt das Polariscop oder der Analyseur (m. s. d. Art. Polarisation des Lichts). Das Licht des Mondes und der Planeten zeigt sich als polarisirtes, was auf eine Reflexion des Lichtes an der Oberfläche dieser Körper hindeutet. Ebenso erwies sich das Licht des großen Kometen von 1819 und des Halley'schen 1835, das Arago in derselben Weise prüfte. Das Licht der Fixsterne giebt sich dagegen wie das der Sonne als gewöhnliches unpolarisirtes, also direct von denselben ausgehendes zu erkennen.

Wie bemerkt geben selbst die stärksten Vergrößerungen nicht die geringste Spur von einem Durchmesser der Fixsterne, ebenso ist ihre Entfernung so bedeutend, daß man von einer Größe der Fixsterne, als ihrer räumlichen Ausdehnung weiter nichts sagen kann, als daß sie unter einer gewissen Grenze nicht liegen könne. Wenn man daher von einer verschiedenen Größe der Fixsterne spricht, so bezieht sich dieselbe nur auf ihren Glanz, d. h. mit Rücksicht darauf, daß man keine Dimensionen dieser Körper unterscheiden kann, auf die scheinbare Helligkeit derselben, oder auf die ganze Lichtmenge, welche von denselben in das Auge dringt. Man unterscheidet darnach Sterne erster, zweiter &c. Größe; eine Eintheilung, welche auf keiner wirklichen Messung der Lichtstärke, sondern nur auf einer Schätzung des unmittelbaren in dem Auge hervorgebrachten Lichteindrucks beruht, also abhängig ist von der individuellen Beschaffenheit der Sehorgane jedes Beobachters. Hieraus ergiebt sich von selbst die Möglichkeit, daß das Urtheil über die Größe eines Fixsterns in einigen Fällen selbst von ein und demselben Beobachter zu verschiedenen Zeiten verschieden ausfallen kann Besonders beachtenswerth ist dieser Umstand, wenn es sich um die Entscheidung über die Veränderlichkeit eines Fixsterns (s. u.) handelt. Bezüglich der mit blosem Auge sichtbaren Sterne ist das Urtheil durch vieljährige und mehrseitige Uebereinkunft ziemlich festgestellt und man hat von denselben 6 Größenclassen angenommen, so daß mit der siebenten Classe die telescopischen beginnen. Zur ersten Classe gehören nur etwa 20 Sterne, zur zweiten 65, zur dritten 190, zur vierten 425 zur fünften 1100 und

etwa 3200 zur sechsten; wobei also in jeder Classe ungefähr 3 bis $3^1/_2$ mal so viel als in der vorhergehenden gezählt werden. Von den telescopischen Sternen führt man schon 13000 von der siebenten, 41000 von der achten, 145000 von der neunten rc. Größe auf. Die Sterne erster Größe sind:

α der Leyer oder Wega
α des Fuhrmanns oder Capella
α des Bootes oder Arcturus
α des Stiers oder Aldebaran
α des Orion oder Beteigeuze
β des Orion oder Riegel
α des Löwen oder Regulus
β des Löwen oder Denebola
α des Adlers oder Atair
α des kl. Hundes oder Procyon
α des Perseus oder Algenib
α der Andromeda oder Sirrah
α des gr. Hundes oder Sirius
α der Jungfrau oder Spica (Kornähre)
α des Scorpions oder Antares
α des südlichen Fisches oder Fomalhaut
α der Argo oder Canopus
α des Eridanus oder Achernar
α des Centauren
α des südl. Kreuzes.

Die vier zuletzt genannten sind für unsere nördlichen Gegenden nicht sichtbar; α des Perseus, α der Andromeda und β des Löwen werden von Einigen zu Sternen zweiter Größe gezählt, dagegen wird α des Schwans oder Deneb, der meist als Stern zweiter Classe vorkommt, bisweilen zur ersten gerechnet. Für die Sterne, welche diesen festgesetzten Größenbestimmungen nicht genau entsprechen, hat man Zwischenclassen eingeführt, indem man die zwischen der 1. und 2. oder 3. u. 4. Classe liegenden durch (1.2), oder (3.4) bezeichnet. Bei Struve und Argelander kommen noch Zehntel der Differenzen, sogenannte Stufen vor. Diese Bestimmungen sind gewöhnlich Mittelwerthe aus mehreren Schätzungen.

Wirkliche Messungen der Lichtstärke haben wie alle photometrischen Untersuchungen ihre besonderen Schwierigkeiten, weil das Auge nicht das Verhältniß verschiedener Lichtintensitäten, sondern nur die Gleichheit oder Ungleichheit derselben mit einiger Sicherheit und zwar auch nur unter besonderen, günstigen Umständen beurtheilen kann. Eine Vorrichtung aber, durch welche das Licht dahin gebracht werden könnte, eine mechanische Bewegung zu bewirken, die nach einem gewissen Gesetze von der Intensität desselben abhinge, was z. B. das Thermometer für die Wärme ist, kennt man bis jetzt nicht. Nach dem gewöhnlichen Principe der Photometer, (m. s. d. Art.) ist eine Kenntniß der Entfernungen der betreffenden Lichtquellen erforderlich, folglich eine Messung der Lichtquantitäten, welche von den Fixsternen zu uns gelangen, nur auf besonderen Umwegen möglich, wo-

durch aber die Sicherheit des Resultats bedeutend beeinträchtigt wird *). Das Prismenphotometer von Steinheil oder Astrometer **) (m. s. d. angez. Art.), auf ein anderes Princip basirt, ermöglicht eine directere Vergleichung der Lichtstärken der Gestirne, wenn auch die Beobachtung damit und Bestimmung der Resultate aus denselben immer noch ihre eigenthümlichen Schwierigkeiten hat. Seidel hat mit diesem Instrument eine Reihe photometrischer Messungen ausgeführt und bekannt gemacht. Setzt man nach denselben die Lichtstärke von α der Leyer oder Wega = 1, so ist sie

für	α des gr. Hundes	oder	Sirius	= 5,13
„	β des Orion	oder	Riegel	= 1,30
„	α des Bootes	„	Arcturus	= 0,84
„	α des Fuhrmanns	„	Capella	= 0,83
„	α des kl. Hundes	„	Procyon	= 0,71
„	α der Jungfrau	„	Spica	= 0,49
„	α des Adlers	„	Atair	= 0,40
„	α des Stiers	„	Aldebaran	= 0,36
„	α des Schwans	„	Deneb	= 0,35
„	α des Löwen	„	Regulus	= 0,34
„	β der Zwillinge	„	Pollux	= 0,30

Mars und Jupiter zeigten bei ihren Oppositionen eine Lichtstärke von resp. 6,8 und 8,5. — Eine unmittelbare Vergleichung des Sonnen- und Sternenlichts ist nicht möglich; man sucht daher das von einem Körper zurückgestrahlte Sonnenlicht zu messen oder mit einer bekannten Lichtintensität in Vergleich zu bringen, wobei man freilich das Verhältniß des zurückgeworfenen und einfallenden Lichtes kennen muß. Wollaston verglich die Intensität des von einer Thermometerkugel zurückgestrahlten Sonnenlichts mit der einer Lichtflamme, und am Abend dieselbe Flamme mit dem directen Lichte des Sternes. Aus mehreren Versuchen bestimmte er die Intensität des Sonnenlichts gegen 20000 Millionen mal größer als die des Sirius ***). Wie man leicht erkennt, haben diese Versuche ihr Mißliches und man kann die Resultate nur als erste Annäherungen gelten lassen. Nach J. Herschel ist das Licht des Vollmondes 27408 mal stärker als von α Centauri und nach Wollaston ist die Sonne 801072 mal lichtstärker als der Vollmond, woraus ein Verhältniß der Lichtstärken von α Centauri und der Sonne wie 1 zu 22000 Millionen sich ergiebt ****). Nimmt man an, daß der Mars den 7. Theil des von der Sonne erhaltenen Lichtes reflectire — einen ebenso großen Theil wie die Erde nach Lambert's Versuchen — so stellt sich nach der

*) Bezüglich eines von Arago angegebenen Photometers, welches auf das Complementärverhältniß der Farbenringe bei auffallendem und durchgelassenen Lichte basirt ist, (m. s. d. Artik. Farbenringe) ist zu vergleichen Humboldt, Kosmos. Bd. III. S. 104 u. 134.

**) Steinheil, Elemente der Helligkeits-Messungen am Sternenhimmel. München 1836. Schumach. astr. Nachr. Nr. 609.

***) Philos. Transact. for 1829. p. 27.

****) Herschel, Outlines of Astronom. p. 553; Astronom. Observ. at the Cape p. 363.

angegebenen Lichtstärke des Mars = 6,8 die Intensität des Sonnenlichtes gegen 40000 Millionen mal größer als von der Wega heraus; die Sonne würde zu einer 200000 mal größeren Entfernung hinausrücken müssen, um mit derselben Lichtstärke wie Wega zu erscheinen *).

Ein weiterer Unterschied der Fixsterne bezieht sich auf die Farben derselben, wovon jedoch derjenige Farbenwechsel (gewöhnlich ins Rothe gehend) abzuscheiden ist, der bei einer niedrigen Höhe der Gestirne eintritt und seinen Grund in den Dünsten unserer Atmosphäre hat. Der den Gestirnen eigenthümliche Farbenunterschied ist indessen nur bei einigen derselben besonders hervortretend, in den meisten Fällen dagegen ziemlich schwach und überdies nur mit einem guten achromatischen Fernrohr bei günstigem Stande der Gestirne und bei ruhiger, reiner Luft mit Sicherheit zu beobachten. Die Beschaffenheit des Instruments ist ganz besonders dabei zu untersuchen und namentlich auch darauf zu sehen, daß man das Gestirn nicht zu nahe an den Rand des Gesichtsfeldes kommen lasse. Bei Spiegeltelescopen hat man die Composition des Spiegels in Betracht zu ziehen; diese Instrumente zeigen in der Regel mehr Farben als achromatische (dioptrische) Fernröhre. — Die meisten Gestirne geben ein weißes Licht, obwohl mit mehreren Nüancen. Zu den mit entschieden weißem Lichte glänzenden Sternen gehören: α des gr. Hundes, α der Leyer, α des Schwanes, α des Löwen, α der Jungfrau. Rothes Licht haben: α des Stiers, α des Bootes, α des Orion, β der Zwillinge, o des Wallfisches (Mira Ceti, veränderlich, die Mehrzahl der veränderlichen Sterne haben rothes Licht, s. unten); gelbes: α des Fuhrmanns, α des kl. Hundes, α des Adler, α des gr. Bären, α (Polarstern) und β des kl. Bären; grünliches α der Zwillinge; bläuliches η der Leyer. Nach J. Herschel (Capreise S. 17 u. 102) besteht der Sternhaufen bei $\varkappa$ des südlichen Kreuzes aus einer großen Anzahl kleiner Sterne von vielerlei Farben (rothe, grüne, blaue), welche in starken Fernröhren wie vielfarbige Edelsteine erscheinen. In großer Mannigfaltigkeit finden sich Farbenunterschiede bei den Doppelsternen (s. d. Art. Bd. II. S. 541). Diese besonderen Farben nehmen Einige nicht für den betreffenden Gestirnen eigenthümliche Eigenschaften an, sondern erklären sie aus Bewegungsverhältnissen der von allen Gestirnen gleichfarbig ausgehenden Lichtstrahlen. Doppler meint die vorherrschenden Färbungen einzelner Sterne durch Zusammensetzung der Geschwindigkeiten, mit welcher einerseits sich die Lichtwellen verbreiten (s. d. Art. Licht) und mit welcher andererseits die Sonne nebst ihrem System im Weltenraume den betreffenden Sternen, die außerdem auch noch ihre besonderen Bewegungen haben können (s. u.), entgegen-, nach- oder davoneilt, erklären zu können. So wie man nämlich die Erfahrung gemacht hat, daß der unveränderliche Ton eines in einiger Entfernung tönenden Körpers sich zu erhöhen oder zu erniedrigen scheint, wenn man mit einer Geschwindigkeit, die zu der des Schalles in einem nicht zu geringen Verhältniß steht, sich dem Körper nähert oder von ihm entfernt, so daß das Ohr innerhalb einer Secunde im ersteren Falle eine größere, im letzteren eine kleinere Anzahl Schallwellen aufnimmt: eben so soll nach Doppler die Farbenverschiedenheit (die im Allgemeinen allerdings von dem Verhältniß der Anzahl der in einer gewissen Zeit

*) M. vergl. die photometrische Reihung von 190 Fixsternen 1. bis 3. Größe nach J. Herschel in Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 138.

das Auge treffenden Lichtwellen beruht) der Sterne dadurch entstehen, daß wir uns mit der Sonne dem Lichte einiger Sterne entgegen, dem anderer aber voraus bewegen. Dies werde nun dadurch bestätigt, daß nach der Gegend hin, nach welcher die Sonne sich bewege (nach dem Sternbilde des Hercules) mehr blaue und violette Sterne und in entgegengesetzter Richtung mehr rothe und orangene sich vorfinden, indem dieser Bewegung zufolge von ersterer Gegend her innerhalb einer Secunde eine größere Zahl Wellen das Auge treffe, als von entgegengesetzter und die Schwingungszahlen für die genannten Farben in einem damit übereinstimmenden Verhältnisse stehen.

Diese Ansicht enthält jedoch von verschiedenen Seiten ihre Unwahrscheinlichkeiten. Zunächst ist die Zahl der sicher als farbig zu bezeichnenden Sterne verhältnißmäßig noch zu gering, um die angegebene Vertheilung derselben am Himmel nach den genannten Richtungen als festbegründete Thatsache der Beobachtung annehmen zu können. Aber auch abgesehen davon, so stehen doch die Geschwindigkeiten des Lichts und der noch so stark angenommenen Eigenbewegung der Sonne in einem zu ungleichem Verhältnisse. Um einen rothen Strahl, z. B., in einen orangenen umzusetzen, müßte dieses Verhältniß mindestens gleich $^1/_{17}$ sein, was auf eine beispiellose relative Geschwindigkeit (gegen 2500 Meil. pr. Sec.) der Sonne führen würde. Am meisten steht dieser Erklärungsweise die Thatsache entgegen, daß wirkliche Doppel- und dreifache Sterne, die relativ nahe bei einander und in derselben Richtung zur Sonnenbahn liegen- doch entgegengesetzte Färbung zeigen, z. B. roth, blau, weiß: 35 Comae Beren. (Nr. 1687 des Struve'schen Katalogs). Daß die Farben bei diesen Sternen nicht als blos complementäre (s. d. Art. Farbe) aufgefaßt werden können, ist unter dem angezogenen Artikel Doppelsterne schon bemerkt worden.

Die Farbe scheint bei einigen Sternen veränderlich zu sein; sehr bemerkenswerth ist es, daß der Sirius, dessen Farbe entschieden weiß ist, von den Alten als rother Stern bezeichnet wird; desgleichen soll η der Argo außer seiner Größe (s. u.) auch seine Farbe verändert haben und beträchtlich röther geworden sein. (J. Herschel, Capreise S. 34).

Viel bestimmter ist die Veränderlichkeit mehrerer Sterne nach ihrem Glanze oder ihrer Größe erkannt worden.

Man zählt deren nach Argelander 24, nach J. Herschel 45 mit mehr oder weniger fest bestimmten Perioden ihrer Veränderlichkeit. Bei den meisten derselben ist die Dauer dieser Periode wieder einer Veränderung unterworfen, deren Gesetzmäßigkeit insbesondere Argelander an einigen Sternen festzustellen versucht hat *). Desgleichen ist die Stärke des größten und kleinsten Glanzes (Maximum und Minimum) bei vielen als veränderlich gefunden (insbes. bei Mira Ceti s. u.) oder es sind mehrere Maxima und Minima beobachtet worden. Die Zunahme des Glanzes erfolgt bei einigen schneller als die Abnahme; am auffallendsten ist dies bei δ im Cepheus der Fall; dagegen braucht z. B. β der Leyer gleiche Zeit zur Zu- und Abnahme und bei Mira, welche gewöhnlich rascher zu- als abnimmt, ist sogar ein Wechsel in diesem Verhältnisse beobachtet

*) Schumacher's Astron. Nachr. Nr. 472 u. 624.

worden. Fast alle verweilen in ihrem Minimum längere Zeit als im Maximum, mit Ausnahme von β im Perseus oder Algol, dessen Erscheinung überhaupt von der der übrigen veränderlichen Sterne in mehrfacher Hinsicht abweichend ist. Die Farbe der meisten ist roth oder wenigstens ins Röthliche spielend, doch giebt es auch weiße, wie Algol, β der Leyer und ε des Fuhrmanns; gelblich ist η im Adler.

Zuerst wurde eine Veränderung des Glanzes an dem Stern o im Walfisch (1596 von Dav. Fabricius beobachtet, als periodisch veränderlich von Phocylides Holwarda 1638 erkannt) bemerkt, der deshalb den Beinamen des Wunderbaren, Mira Ceti, erhielt. Seine Periode beträgt im Mittel 332 Tage, ist aber wie bemerkt sehr veränderlich. Die kürzeste Zeit von einem Maximum bis zum nächsten ist zu 306 Tagen, die längste zu 367 T. beobachtet worden, so daß die Differenzen dieser Perioden gegen die mittlere bis zu 1 Monat steigen. Er erreicht in seinem Maximum nicht immer dieselbe Lichtstärke, meist steigt er zur 3. bis 2. Größe, bisweilen bleibt er bei der 4. stehen, dagegen hat man ihn auch von der 1. bis 2. Größe beobachtet. Von seinem Maximum nimmt er bis zur 11. Größe ab, wobei er einem bis auf $2^1/_4{}'$ ihm nahe stehen telescopischen Sterne an Glanz gleich kommt. Die Zeit der Abnahme des Lichts vom Maximum bis zum Unsichtbarwerden für das bloße Auge (bis zur 6. Größe) ist im Mittel 69 T., die Zeit für die Lichtzunahme von der 6. Größe bis zum Maximum 50 T., doch ist auch die Dauer der Zu- und Abnahme des Lichts bis zu diesen Grenzen, wie überhaupt die Geschwindigkeit der Veränderung von einem Maximum bis zum Minimum sehr schwankend.

Ein zweiter bemerkenswerther veränderlicher Stern ist β im Perseus oder im Medusenhaupte, auch Algol genannt. Seine Periode ist die kürzeste von den sicher beobachteten (Polaris hat vielleicht eine noch kürzere), aber ebenfalls veränderlich. Sie betrug im Jahre 1784 2 Tage 20 St. 48 Min. 59,4 Sec. und im Jahre 1842 nur 2 T. 20 St. 48 Min. 55,2 Sec.; auch scheint es, daß die Abnahme der Periode jetzt schneller als früher vor sich geht. Die gegenwärtige Verkürzung der Periode läßt sich nach Argelander *) erklären, wenn die Entfernung von Algol jedes Jahr um 500 Meilen abnimmt, indem dann das Licht von da um 12 Tausendtheile einer Secunde, wie die Abnahme der Periode verlangt, früher bei uns ankommt. Der Stern ist die ganze Periode mit Ausnahme von etwa nur 8 Stunden in unveränderter Lichtstärke von der 2. bis 3. Größe sichtbar und erfährt innerhalb 4 Stunden eine Abnahme bis zur 4 Größe, in welchem Minimum er gegen 15 Minuten verharrt; hierauf nimmt er in nahe 4 Stunden wieder bis zur vorigen Helligkeit zu. Die Veränderung der Lichtstärke ist in der Nähe des Minimums rascher, und bei der Zunahme findet etwa eine Stunde nach dem Minimum ein Stehenbleiben in der erlangten Helligkeit statt, welches ziemlich eine Stunde dauert, nach deren Ablauf erst wieder die Zunahme bis zum Maximum erfolgt. Sein Licht ist, wie schon bemerkt, weiß.

Außer diesen und in untenstehender Tabelle bemerkten Sternen, deren Periode der Veränderlichkeit in die verhältnißmäßig engen Grenzen bis zu höchstens

---

*) Kosmos Bd. III. S. 247.

$1^1/_2$ Jahren eingeschlossen ist, sind noch einige andere Sterne unter die Zahl der veränderlichen aufzunehmen, deren Periodicität noch unerforscht ist. Die merkwürdigste Erscheinung in dieser Beziehung ist am Sterne η der Argo beobachtet worden. Derselbe wurde von Halley 1677 von 4. Größe, von Lacaille 1751 schon von der 2., von Burchell 1811 bis 1815 wieder von der 4., von Fallows und Brisbane 1822 bis 1826 von der 2., von Burchell 1827 Febr. von der 1. Größe, dem Stern α Crucis gleich, beobachtet; 1828 Febr. war er wieder von der 2. Größe (Burchell), eben so wurde er von Johnson und Taylor 1829 bis 1833 aufgezeichnet; J. Herschel fand ihn 1834 bis 1837 von der Größe 1.2; am 16. December 1837 sah er ihn aber von stärkerem Glanze, gleich α Centauri, mit dauernder Zunahme bis zum 2. Jan. 1838. Von da an nahm der Stern bis März 1843 wieder ab, blieb aber noch von der 1. Größe. Im April 1843 erfolgte wieder eine starke Zunahme, so daß er nach Makay in Calcutta und Maclear am Cap glänzender als Canopus und fast dem Sirius gleich kam *). 1850 ist er noch vom Glanze des Canopus und heller als α Centauri gesehen worden **).

Aehnliche Veränderungen der Größe, wenn auch nicht so hervorstechend sind an Capella von Struve und J. Herschel beobachtet worden; jetzt ist dieselbe auch nach Galle und Heis bedeutend heller als Wega, während sie früher derselben nachstand. Desgleichen haben erweislich Lichtveränderungen an mehreren Sternen des großen und kleinen Bären stattgefunden ***).

In der folgenden Tabelle über die veränderlichen Sterne von Argelander ****) sind die Helligkeitsgrade nach den gewöhnlichen Größenclassen der Sterne angegeben; eine 0 in der Reihe der Minima bedeutet, daß der Stern bis zur 10 Größe und darunter abnimmt. Die Bezeichnung der kleineren Sterne mit großen lateinischen Buchstaben im Sternbilde rührt von Argelander selbst her.

---

*) J. Herschel, Capreise §. 71—78 u. Outlines of Astr. §. 830.

**) Kosmos Bd. III. S. 253.

***) Vergl. J. Herschel, Capreise §. 259; Kosmos Bd. III. S. 255.

****) Kosmos Bd. III. S. 243.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Nr.	Bezeichnung des Sternes	Position d. Sterns für 1850 A. R.	Decl.	Dauer der Periode	Helligkeit im Maxim.	Minim.
				T. St. Min.		
1	ο Ceti (Mira)	32° 57′	— 3° 40′	331 20 —	4 bis 2.1	0
2	β Persei (Algol)	44 36	+ 40 22	2 20 49	2.3	4
3	χ Cygni	296 12	+ 32 32	406 1 30	6.7 bis 4	0
4	30 Hydrae Hevel.	200 23	— 22 30	495 — —	5 bis 4	0
5	Leonis R = 420 Mayeri	144 52	+ 12 7	312 18 —	5	0
6	η Aquilae = η Antinoi	296 12	+ 0 37	7 4 14	3.4	5.4
7	β Lyrae	281 8	+ 33 11	12 21 45	3.4	4.5
8	δ Cephei	335 54	+ 57 39	5 8 48	4.3	5.4
9	α Herculis	256 57	+ 14 34	66 8 —	3	3.4
10	Coronae R	235 36	+ 28 37	323 — —	6	0
11	Scuti R	279 52	— 5 51	71 17 —	6.5 bis 5.4	9 bis 6
12	Virginis R	187 43	+ 7 49	145 21 —	7 ‚ 6.7	0
						0
13	Aquarii R	354 11	— 16 6	388 13 —	9 ‚ 6.7	0
14	Serpentis R	235 57	+ 15 36	359 — —	6.7	0
15	Serpentis S	228 40	+ 14 52	367 5 —	8 ‚ 7.8	0
16	Cancri R	122 6	+ 12 9	380 — —	7	0
17	α Cassiopeae (Schedir)	8 0	+ 55 43	79 3 —	2	3.2
18	α Orionis (Beteigeuze)	86 46	+ 7 22	196 0 —	1	1.2
19	α Hydrae (Alphard)	140 3	— 8 1	55 — —	2	2.3
20	ε Aurigae	72 48	+ 43 36	?	3.4	4.5
21	ζ Geminor.	103 48	+ 20 47	10 3 35	4.3	5.4
22	β Pegasi	344 7	+ 27 16	40 23 —	2	2.3
23	Pegasi R	344 47	+ 9 43	350 — —	8	0
24	Cancri S	128 50	+ 19 34	?	7.8	0

VIII. Name des Entdeckers	Zeit der Entdeckung	IX. Bemerkungen
Holwarda	1639	s. oben.
Montanari	1669	s. oben.
Gottfr. Kirch	1687	große Schwankungen in der Periode und in der Helligkeit des Maximum.
Maraldi	1704	desgleichen.
Koch	1782	Periode unregelmäßig; Helligkeit im Maximum etwas schwankend.
E. Pigott	1784	Periode ziemlich gleichförmig (7 T. 4 St. 13′ 53″), ebenso der Lichtwechsel.
Goodricke	1784	hat 2 Maxima und 2 Minima. Vom kleinsten Minimum erreicht er in 3 T. 5 St. das 1. Maxim., darauf in 3 T. 3 St. das 2. Minimum, nach 3 T. 2 St. das 2. Maxim. mit der Helligkeit des 1. Maxim. und in 3 T. 12 St. das 1. Minim. mit der geringsten Helligkeit. Dauer der ganzen Periode 12 T. 21 St. 46′ 40″ für 1840 bis 1844, war 1784 um 2½ St. kürzer und zeigt jetzt wieder eine Verkürzung.
Goodricke	1784	Periode ganz regelmäßig = 5 T. 48^h 47′ 39″,5.; braucht 1 T. 15 St. vom Minimum bis zum Maximum und umgekehrt 3 T. 18 St.; bleibt in letzterer Zeit 8 St. beinahe stationär und verändert sich 1 T. lang nur unbedeutend.
W. Herschel	1795	Doppelstern, Hauptstern roth, Begleiter blau. Lichtwechsel des Hauptsterns sehr unregelmäßig; Periode noch unsicher, nach Heis = 184,9 T. mit 2 Maximis und 2 Minimis; Veränderlichkeit des Begleit. noch nicht fest bestimmt.
E. Pigott	1795	nur zeitweise veränderlich.
E. Pigott	1795	Veränderlichkeit bisweilen sehr gering, bisweilen viel bedeutender; vielleicht eine Periode mit mehreren Maxim. und Minim.
Harding	1809	ziemlich regelmäßig in der Periode und Helligkeit des Maximums.
Harding	1810	noch wenig beobachtet.
Harding	1826	
Harding	1828	
Schwerd	1829	
Birt	1831	schwer zu beobachten, Helligkeitsuntersch. sehr gering und veränderlich, wie die Periode.
J. Herschel	1836	Wechsel des Lichts gering, Zunahme 91½ T. Abnahme 104½ T.; sehr rothe Farbe.
J. Herschel	1837	Periode noch sehr unsicher.
Heis	1846	Lichtwechsel sehr unregelmäßig; viell. mehrere Maxim. und Minim.
Schmidt	1847	regelmäßiger Lichtwechsel; Zunahme 4 T. 21 St. Abn. 5 T. 6 St.
Schmidt	1848	Gang des Lichtwechsels noch unbest.
Hind	1848	noch zu wenig beobachtet.
Hind	1848	

Eine Veränderlichkeit hat man ferner an einigen Sternen noch angenommen, die in älteren Sternkarten einer anderen Classe zugehörig eingezeichnet worden sind. So wird α der Wasserschlange oder Alphard als Stern 1. Größe aufgeführt, der jetzt zwischen der 2. und 3. Größe steht, und wie in obiger Tabelle bemerkt, eine Veränderlichkeit von der 2. auf die 2.3 Größe zeigt. Ebenso glaubt man bei β im Löwen oder Denebola eine Abnahme des Lichts annehmen zu dürfen. Dagegen scheint bei α im Adler oder Altair, der früher als Stern 2. Größe bezeichnet worden, jetzt aber bestimmt 1. Größe ist, eine Zunahme des Lichts stattgefunden zu haben. Die Angaben älterer Sternkarten sind jedoch mit besonderer Vorsicht aufzunehmen, und wenigstens darf nicht aus der Reihenfolge der Buchstaben α, β..., welche Bayer in der Bezeichnung der Sterne eingeführt hat, eine consequente Andeutung der Größenverhältnisse gesucht werden; vielmehr bezeichnet, wie Argelander erwiesen hat *), diese Buchstabenfolge bei weniger verschiedenen Sternen die Richtung von Nord nach Süd, oder vom Kopf nach den Füßen des Sternbildes. Hiernach sind die Lichtveränderungen von α im Adler, α der Wasserschlange, α der Zwillinge oder Castor (Doppelstern) sehr zweifelhaft.

Mit der Veränderlichkeit einiger Sterne verwandt ist die Erscheinung des plötzlichen Sichtbarwerdens und meist baldigen Wiederverschwindens sogenannter neuer Sterne.

Als wohl verbürgt sind folgende Ereignisse zu betrachten: Im Jahre 1572 d. 11. Novbr. sah der Astronom Tycho de Brahe **) in Sternbilde der Cassiopea (unter 3° 26′ AR und 63° 3′ Decl. f. 1800) einen sehr hellen Stern aufleuchten, dessen Glanz den aller übrigen Sterne, selbst der Venus übertraf und der sogar bei Tage gesehen werden konnte. Im folgenden Jahre nahm derselbe im Glanze nach und nach ab, wechselte dabei seine Farbe successiv von weiß in gelb, roth und wieder in weiß und verschwand im März 1574 nach 17 Monaten seit seinem Erscheinen spurlos für das bloße Auge. Man hat später nach Erfindung des Fernrohrs den Ort seines Erscheinens durchmustert, ohne jedoch eine Spur von ihm wieder aufzufinden.

Der im Jahre 1600 erschienene neue Stern im Schwan (34 Cygni, AR 302° 36′, Decl. 37° 27′ f. 1800) wurde von Kepler ***) erst im J. 1602 anhaltend als ein Stern 3. Größe beobachtet. Nach 19 Jahren seit seinem ersten Erscheinen zeigte sich eine Abnahme und 1621 verschwand er. 1655 sah D. Cassini ihn wieder als einen Stern bis zur 3. Größe; desgleichen Hevel 1665 mit einer gewissen Zunahme, doch immer unter der 3. Größe. Später (1677 bis 1682) erschien er nur noch von der 6. Größe, in welcher er bis jetzt verblieben ist.

J. J. 1604 d. 10. October beobachtete Kepler ****) einen neuen Stern von weißer Farbe im östlichen Fuße des Schlangenträgers (AR 259° 42′, Decl. — 21° 15 f. 1800). Derselbe ward als Stern 1. Größe glänzender als Jupiter, doch weniger groß als Venus gesehen. 1605 Ende März war er nur noch von 3. Gr. und Ende Februar 1606 verschwand er spurlos.

---

*) Argelander de fide Uranometriae Bayeri. p. 15.

**) Tychonis Brahe Astronom. instauratae Progymnasmata 1603. p. 298.

***) De stella nova in Serpent. p. 152 seq.: de stella nova tertii honoris in Cygno.

****) De stella nova in Serp. 1606.

Im Jahre 1670 den 20. Juni entdeckte der Karthäuser Anthelme am Kopfe des Fuchses in der Nähe von β des Schwans (AR 294° 27′, Decl. 26° 47′) einen neuen Stern 3. Größe, der den 10. August nur noch von 5. Gr. war und nach drei Monaten verschwand; den 17. März 1671 wurde er wieder von 4. Gr. gesehen, und von D. Cassini im April desselben Jahres beobachtet. Derselbe fand seine Helligkeit sehr veränderlich. Den 29. März 1672 wurde er noch einmal von 6. Größe gesehen und seitdem nicht wieder.

Im Jahre 1848 den 28. April entdeckte Hind *) in London einen neuen Stern von gelb-rother Farbe im Schlangenträger (AR 252° 42′ 15″, Decl. — 12° 39′ 16″ f. 1848), welcher zuerst die 5. Gr. erreichte, aber abnahm und 1850 kaum noch von 11. Größe war. Die Neuheit seiner Erscheinung und Unveränderlichkeit seiner Position ist an diesem Sterne mit vollkommner Sicherheit constatirt.

Außerdem geben noch Nachrichten von neu erschienenen Sternen theils Chroniken- und Geschichtsschreiber theils chinesische Astronomen. Die Verzeichnisse von letzteren verdienen wegen der Genauigkeit, womit man in China seit den ältesten Zeiten Himmelserscheinungen jeder Art aufzuzeichnen pflegte, einige Beachtung. Die Zahl der neu erschienenen Sterne, von welchen man Nachrichten (mit ungleichem Grade von Sicherheit) hat, ist in Betracht des sehr langen Zeitraums von gegen 2000 Jahren sehr gering, so daß diese Erscheinung zu den seltneren zu rechnen ist. A. Humboldt **) führt folgende an:

1) 134 v. Chr. zwischen β und ϱ im Scorpion; nach chinesischen Verzeichnissen des Ma-tuan-lin ***), vielleicht der neue Stern des Hipparch ****), welcher nach Plinius denselben zu seinem Sternverzeichniß veranlaßt haben soll.
2) 123 n. Chr. im Decbr. zwischen α Herc. u. α Ophiuch. nach Ma-tuan-lin; vielleicht derselbe, welcher unter Hadrian 130 n. Chr. erschienen sein soll.
3) 173 n. Chr. den 10. Decbr. zwischen α und β des Centauren, der nach 8 Monaten verschwand; nach Ma-tuan-lin.
4) 369 n. Chr. von März bis August sichtbar; nach Ma-tuan-lin.
5) 386 n. Chr. zwischen λ und φ des Schützen von Apr. bis Jul. sichtbar, nach Ma-tuan-lin.
6) 389 n. Chr. nahe bei α im Adler, hatte die Helligkeit der Venus, und verschwand 3 Wochen nach seinem Erscheinen.
7) 393 n. Chr. im Scorpion; nach Ma-tuan-lin.
8) 827 (?) n. Chr. oder in der 1. Hälfte des 9. Jahrhunderts im Scorpion; ein Stern dessen Licht nach dem Zeugnisse arabischer Astronomen dem des Mondes in seinen Vierteln geglichen haben soll; er verschwand nach 4 Monaten.

---

*) Notices of the Astron. Soc. Vol. VIII. p. 146 u. 155—158.

**) Kosmos. Bd. III. S. 220 u. f.

***) Bearbeitet von Ed. Biot (Connaissance des temps p. l'an 1846. p. 61).

****) Hipparch's Verzeichniß datirt vom Jahre 128 v. Ch. (Ptolem. Almag. VII. 2. p. 13).

9) 945 n. Chr. zwischen Cepheus u. d. Cassiopea, nach dem Zeugniß des böhmischen Astronomen Cyprianus Leovitius, welcher seine Nachricht aus einer handschriftlichen Chronik geschöpft haben will. Derselbe stellt diese Erscheinung mit der vom J. 1264 und 1572 zusammen, und bemerkt insbesondere den nahe zu gleichen Ort ihres Erscheinens *). Könnte man hiernach diese Erscheinungen für identisch ausgeben, so deutete dies auf eine Periode von 312 bis 315 Jahren hin.

10) 1012 (?) im Widder, nach dem Zeugniß des Mönchs von St. Gallen Hepidannus (Duchesne Historiae Francor. Script. III. 1641. p. 477, Schnurrer, Chronik der Seuchen. Bd. I. S. 201), oder im Jahre 1006 (Pertz Monumenta Germaniae historica, Scriptornm T. I. 1826. p. 81). Der Stern wurde vom Mai an 3 Monate lang von ungewöhnlichem Glanze gesehen. Er erschien bald größer bald kleiner und verschwand bisweilen auch ganz. Nach Hind (Notices of the Astron. Soc. Vol. VIII. 1848. p. 156) ist es vielleicht der nach Ma-tuan-lin 1011 zwischen σ und φ im Schützen gesehene Stern.

11) 1203 im Scorpion nach Ma-tuan-lin „ein neuer Stern von weiß-bläulicher Farbe ohne allen leuchtenden Nebel, dem Saturn ähnlich" **).

12) 1230 im Ophiuchus nach Ma-tuan-lin, von Mitte Dec. bis März 1231.

13) 1264 zwischen Cepheus und der Cassiopea nach Leovitius, vergl. 9.

14) 1572 in der Cassiopea; der Tychonische Stern, s. o.

15) 1578 (?) Februar nach Ma-tuan-lin. „Ein Stern groß wie die Sonne."

17) 1584 nahe bei π im Scorpion; nach Ma-tuan-lin.

18) 1600 im Schwan; s. o.

19) 1604 im Ophiuchus; der Kepler'sche St. s. o. Auch die chines. Verzeichnisse erwähnen eines Sterns zu dieser Zeit ***).

20) 1609 nach Ma-tuan-lin; ein Stern von ansehnlicher Größe.

21) 1670 im Fuchs in der Nähe von Albireo s. o.

22) 1848 im Ophiuchus, Hind's Stern s. o.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, die höchst merkwürdigen Erscheinungen der periodischen Veränderlichkeit, so wie der plötzlich eintretenden Sichtbarkeit und auffallenden Verstärkung des Glanzes einiger Sterne zu erklären. Höchst wahrscheinlich ist es, daß der Grund dieser Veränderungen nicht ein und derselbe ist, und vielleicht sind selbst die Erscheinungen ein und derselben Art, wie z. B. die periodisch-veränderlichen Sterne zeigen, Folgen ganz verschiedener Ursachen. Wie von allen naturwissenschaftlichen Hypothesen, so können auch von den hierüber aufgestellten nur diejenigen Anspruch auf Beachtung finden, welche den bisher allgemein beobachteten Gesetzen der Mechanik, so wie feststehenden Beobachtungen in keiner

*) Tycho Progymn. p. 331 u. 709.
**) Connaissance des temps p. 1846. p. 68.
***) Connaissance des temps. p. 1846. p. 59.

Weise widersprechen und außerdem einigen Grad von Wahrscheinlichkeit entweder in sich selbst, oder nach Analogie haben. Bedenkt man nun, daß die astronomische Physik sich bis jetzt nur auf einen sehr kleinen Punkt von der gesammten Fixsternwelt, den das ganze Sonnensystem vorstellt, erstreckt hat, und daß jeder Schluß vom Besonderen zum Allgemeinen, oder vom Theile zum Ganzen um so mißlicher ist, je geringer der Umfang und die Erkenntniß vom Ersteren im Verhältniß zum Letzteren ist: so wird man wohl im Voraus abnehmen können, daß die erwähnten Erklärungsversuche noch sehr dürftig ausfallen müssen, wenn man nicht einer ungeregelten Phantasie den freien Eingang öffnen will. — Sucht man die Veränderlichkeit des Sterns auf phoronomische Verhältnisse zurückzuführen, so kann man nach Analogie der im Sonnensysteme und in den Binarsystemen der Doppelsterne beobachteten Bewegungen annehmen, daß mit dem veränderlichen Sterne ein (oder mehrere) dunkler verbunden ist, welcher sich um ihn, oder um welchen er, der leuchtende, sich herum bewegt, so daß bei jeder Lichtabnahme oder bei gänzlichem Verschwinden des Sterns eine Verfinsterung desselben eintritt. Dabei ist nothwendig, daß die Bahnebene beider Sterne ganz oder nahe zu durch das Sonnensystem geht, und daß das Volumen des dunklen Körpers im Verhältniß zum leuchtenden beträchtlich groß ist. Letztere Voraussetzung hat an sich nichts unwahrscheinliches, obgleich wir im Sonnensystem ein Aehnliches nicht vorfinden. Bewegt sich nämlich der dunkle Körper um den leuchtenden, so kann auch bei einem ebenso großen oder größerem Volumen des ersteren doch die M a s s e desselben kleiner als die des letzteren sein. Es hat aber auch nichts widersprechendes, die Masse des dunklen Körpers als die größere anzunehmen, woraus den einfacheren Vorstellungen zufolge eine Bewegung des leuchtenden um den dunklen folgte. Denn das Sonnensystem und die Partialsysteme der Doppel- und mehrfachen Sterne geben Beispiele von Bewegungen dunkler Körper um dunkle und leuchtende, so wie leuchtender um leuchtende; warum sollte die vierte denkbare Möglichkeit, daß leuchtende Körper um dunkle sich bewegen, ausgeschlossen bleiben, zumal da wir keine Veranlassung haben, die Leuchtkraft eines Körpers mit seiner Stellung in einem nach den allgemeinen Gravitationsgesetzen geregelten Systeme in unzertrennliche Verbindung zu bringen? Die Existenz dunkler Körper, welche durch ihre Massenhaftigkeit Haupt- oder Centralkörper für leuchtende sein können, ist übrigens durch B e s s e l von einer anderen Seite wahrscheinlich gemacht worden. Derselbe meint die beobachteten eignen Bewegungen des Procyon und Sirius (s. u.) nach den gewöhnlichen Bewegungsgesetzen nur dadurch auf ungezwungene Weise erklären zu können, wenn man in der Nähe dieser Sterne bedeutende, uns unsichtbare Massen annähme, welche mit jenen Binarsysteme bilden *). Bedenkt man endlich, daß die Centralbewegungen um den g e m e i n s c h a f t l i c h e n S c h w e r p u n k t der betreffenden Körper vor sich gehen und daß nur im Sonnensystem dieser Schwerpunkt ziemlich nahe mit dem Mittelpunkte der überwiegenden Masse eines Hauptkörpers zusammenfällt, während schon die Beobachtungen der Doppelsternsysteme dieses Zusammentreffen als ein nicht wesentliches, sondern nur zufälliges Merkmal herausstellen; so kann man eigentlich jeden nicht durch anderweitige Beobachtungen begründeten Zweifel an

---

*) S c h u m a c h e r's Astron. Nachr. Nr. 514—516. Kosmos. Bd. III. S. 268. Man vergl. Laplace Exposit. du Syst. d. Monde p. 395. M ä d l e r, Untersuch. üb. d. Fixsternsyst. Bd. II. S. 3 u. Astron. 1849. S. 444.

der Bewegung leuchtender Körper um dunkle, auf eine im Eingange dieses Artikels erwähnte Meinung, die Ordnung im Sonnensystem als die einzig mögliche zu betrachten, zurückführen.

Am meisten Wahrscheinlichkeit hat die Hypothese einer Fixsternverfinsterung durch einen dunklen Körper bei Algol, dessen Verfinsterung 8 Stunden, das Maximum derselben gegen 15 Minuten dauert, und welche alle 69 Stunden eintritt.

Ein zweiter Erklärungsversuch setzt eine Rotationsbewegung des veränderlichen Sterns und ein ungleiches Leuchtvermögen an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche voraus, so daß nur ein gewisser Theil der Oberfläche stark leuchte und zur Zeit der beobachteten Lichtstärke seine Strahlen nach dem Sonnensysteme zu sende, während die übrige Oberfläche nur schwachen oder für uns gar keinen Glanz besitze. Läßt man das Strahlungsvermögen von einer Photosphäre, die wie bei der Sonne den an und für sich dunklen Körper umgiebt, ausgehen, so kann man auch eine Seite derselben mit größeren und zahlreicheren Flecken, als sie bei der Sonne beobachtet werden, behaftet sein lassen, deren Beständigkeit oder Veränderlichkeit sich dann durch eine gleiche Eigenschaft der Periode kund giebt. Diese Annahme berührt den freilich noch unerklärten Proceß der Lichtentwickelung, welcher auf einem selbstleuchtenden Körper vorgehen mag, und es läßt sich hierüber nichts weiter sagen, als daß man ebenso gut auch eine der Zeit nach veränderliche Lichterzeugung an einem Weltkörper voraussetzen kann, wodurch man aber im Wesentlichen keine Erklärung giebt, sondern bei der Erscheinung selbst oder deren Bestimmung stehen geblieben ist.

Nach einer dritten Hypothese wird den betreffenden Sternen eine sehr gedrückt-elliptische, oder linsenförmige Gestalt und eine Rotationsbewegung um eine der größeren Axen gegeben, so daß die leuchtende Oberfläche unter verschiedenen Projectionswinkeln, oder in ungleicher scheinbarer Größe erscheint. Es ist aber gegen alle Gesetze der Mechanik, daß ein elliptischer Körper auf die Dauer eine Umdrehung um eine seiner größeren Axen behalte, immer ist die Rotationsaxe die kleinste derselben. Eine Veränderung der scheinbaren Größe eines derartigen linsenförmigen Körpers kann man indessen dadurch hervorgerufen annehmen, daß derselbe mit einem anderen dunklen Körper von entsprechender Masse ein Binarsystem bildet, und daß dabei die Bahnebene beider gegen die Aequatorialebene des leuchtenden unter einem gewissen Winkel (der Schiefe unserer Ekliptik entsprechend) geneigt ist. Es wird dadurch ein pendelartiges Schwanken der Rotationsaxe oder der darauf senkrechten Aequatorialebene hervorgerufen, das in Verbindung mit der Rotationsbewegung und der Revolution um den gemeinsamen Schwerpunkt eine ähnliche Bewegung erzeugt, wie sie bezüglich unserer Erde in der Präcession der Nachtgleichenpunkte oder in der Bewegung des Aequatorialpoles um den Pol der Ekliptik wahrgenommen wird. Die Größe jenes Winkels, den die Aequatorial- und Bahnebene des leuchtenden Körpers (die Ekliptikschiefe) bilden, die Rotations- und Revolutionszeit, insbesondere das Verhältniß seines größten und kleinsten Durchmessers, oder die Excentricität der durch die Rotationsaxe gehenden Durchschnittsellipse, die Masse des angenommenen dunklen Körpers und endlich die gegenseitige Entfernung beider, welche größeren Veränderungen unterworfen ist, wenn man die Bahn, denen der eigentlichen Doppelsterne analog, als eine Ellipse mit großer Excentricität voraussetzt: alle diese Elemente können in einem

solchen Verhältnisse zu einander stehen, daß der gedachte Umlauf des Aequatorialpoles um den Pol der Bahnebene in einer viel kürzeren Periode vollendet wird, als es bei der Erde der Fall ist. Je nachdem ferner das Sonnensystem mehr in der Richtung der Bahnebene oder der darauf senkrechten Linie und je mehr oder weniger dabei die verlängerte Aequatorialebene derselben nahe kommt, können mehrere Maxima bei ein und demselben Minimum, verschiedene Minima bei ein und demselben, oder bei zwei nahe gleichen Maximis &c. eintreten. Die veränderliche Entfernung des dunklen Körpers kann dabei noch Perioden in den Perioden hervorbringen &c.

Wie schon erwähnt, sind die gegenseitigen Stellungen der Fixsterne, oder die Richtungen, in welcher dieselben gesehen werden, nicht unveränderlich. Halley *) verglich zuerst die Sternörter des Sirius, Aldebaran und Arctur **), wie sie der Catalog des Ptolemäus nach den Beobachtungen von Hipparch enthält, mit den zur Zeit beobachteten und schloß aus den einem Zeitraume von über 1800 Jahren zugehörigen Positionsunterschieden dieser Sterne auf eine eigne Bewegung derselben. Wurde nun durch Tob. Mayer's, Maskelyne's und Piazzi's Vergleichungen in der letzten Hälfte des vorigen und zu Anfange des jetzigen Jahrhundert die eigne Bewegung der Sterne im Allgemeinen klarer erkannt, so fügten diesem schon 1783 W. Herschel ***) insbesondere aber in neuerer Zeit Bessel ****) und Argelander *****) numerische Data aus sorgfältigeren Vergleichungen der Bradley'schen Sternörter mit neueren hinzu, so daß jetzt von über 700 Sternen die eigne Bewegung constatirt ist. Die stärkste Eigenbewegung haben α des Bootes oder Arctur (2″,25 jährl.) †), α des Centaur (3″,58) ††), μ der Cassiopea (6. Größe; 3″,74), δ im Eridanus (Doppelstern; 5.4 Größe; 4″,08), der Stern 61 im Schwan (Doppelstern; 5.6. Gr.; 5″,123) †††), der Stern Nr. 1830 des Catalogs von Grombridge (7. Gr.; 6″,974) nach Argelander ††††). Die Sterne erster Größe haben mit Ausnahme der beiden oben genannten geringere Eigenbewegungen, z. B. α im Adler 0″,68, α der Leyer 0″,37, α im Löwen 0″,26, α im Stier 0″,19, α im Orion 0″,05. Gegen 400 Sterne kennt man, deren jährliche Eigenbewegung über $^1/_{10}$″ beträgt, gegen 300, bei welcher sie größer als $^1/_{20}$″ ist.

Diese Eigenbewegungen können nun theils von einer Bewegung der Sonne

---

*) Phil. Transact. for 1717—1719. Vol. 30. p. 736.

**) Der letztere Stern ist seit den Zeiten des Hipparch bis jetzt um $1^1/_4$ Grad, oder um $2^1/_2$ Vollmondbreiten am Himmel fortgerückt.

***) Philos. Transact. Vol. 73. p. 138.

****) Fundamenta astronomiae ex observatt. viri imcomparabilis Bradley deductae auctore W. Bessel 1818.

*****) Argelander stellarum fixarum positiones mediae ineunte anno 1830 Helsinf. 1835; vergl. dens. in Schumacher's Astron. Nachr. Nr. 363 u. 398; &c.

†) Baily in Memoirs of the Astr. Soc. Vol. V. p. 165.

††) Maclear u. Henderson in Memoirs of the Astr. Soc. Vol. XI. p. 61.

†††) Bessel in Schumacher's Astr. Nachr. Bd. XVI. S. 93.

††††) Schuhmacher's Astron. Nachr. Nr. 455.

und ihres Systems herrühren, also nur scheinbare sein, theils in einer wirklichen Fortrückung der Sterne bestehen. Da man hinlängliche Gründe hat, die Sonne zu den Fixsternen zu zählen, so bedingt die Annahme jener scheinbaren auch die dieser wirklichen und umgekehrt. Allein auch die Richtungen der beobachteten Bewegungen weisen auf das Vorhandensein beider hin, wie sich auf folgende Weise übersehen läßt *). Bewegen wir uns in einer ebenen Gegend, in welcher allerlei feste Gegenstände, Bäume, Häuser rc. sichtbar sind, nach einer bestimmten Richtung fort, so scheinen die Gegenstände am Horizonte, auf welche wir zugehen, auseinander zu treten, während die rechts oder lings liegenden ihre gegenseitige Entfernung beibehalten, und dabei eine von der unsrigen entgegengesetzte Bewegung annehmen, dagegen die hinter unserem Rücken befindlichen immer näher an einander zu treten scheinen. Auf diese Weise entsteht eine scheinbare Kreisbewegung der Gegenstände, welche von dem Punkte, wohin unsere eigne Bewegung gerichtet ist, ausgeht, nach rechts und links hin sich fortsetzt und hinter unserem Rücken sich beiderseits schließt. Nehmen wir nun unsere eigene Bewegung nicht unmittelbar wahr, bemerken aber eine der eben beschriebenen ähnliche Bewegung der umgebenden Gegenstände, so können wir von dieser auf jene zurückschließen und auch die Richtung derselben bestimmen. Haben dabei die Gegenstände noch eine besondere verschieden gerichtete Bewegung, so wird durch dieselbe jene scheinbare Kreisbewegung zwar etwas gestört, aber immer noch vorwaltend sich zeigen, zumal wenn die wirklichen Bewegungen alle möglichen Richtungen haben, und eine große Anzahl von Objecten mit einander verglichen werden können. Dies läßt sich unmittelbar auf die beobachteten Bewegungen der Fixsterne anwenden. Auf den ersten Blick sind dieselben ganz unregelmäßig. Aus einer Vergleichung mehrerer derselben ergiebt sich aber eine gemeinsame, von einem Punkte ausgehende Bewegung als vorherrschend, und dies würde der Punkt sein, nach welchen hin das Sonnensystem sich bewegte. Schon W. Herrschel hat denselben zu ermitteln gesucht und ihn im Herkules nahe beim Sterne λ gefunden **). Später bestimmte Gauss aus nur 71, aber seit 80 Jahren genauer beobachteten Sternen diesen Ort des Himmels durch ein Viereck, dessen Eckpunkte liegen in

AR	258° 40′,	Decl.	+ 30° 40′ ***)
„	258 42,	„	+ 30 57
„	259 13,	„	+ 31 9
„	260 4,	„	+ 30 32.

Ausgedehntere Untersuchungen über diesen Gegenstand hat Argelander angestellt. Er theilte die Sterne nach der Größe ihrer Bewegung in 3 Classen, und bestimmte für jede besonders den Ort, wohin die Bewegung der Sonne gerichtet ist; woraus sich als mittleres Resultat der Punkt unter 259° 52′ Rectasc. und + 32° 29′ Decl. ergab ****). Später fügte er noch eine Classe von Sternen, deren jährliche Bewegung noch über 0″08 ist, hinzu und fand denselben

---

*) Nach Enke „Betrachtungen über die Anordnung des Sternsystems“. S. 19.

**) Bode astron. Jahrb. 1787. 231. λ Herc. hat AR = 260° 40′ u. Decl. + 26″ 16′ für 1800.

***) Enke, Anordnung des Sternsyst. S. 21.

****) Astron. Nachr. Nr. 363.

Punkt unter 257° 54′ Rectasc. und + 28° 49′ Decl. *), für 1800. Galloway hat aus den Bewegungen der Fixsterne der südlichen Halbkugel für den fraglichen Ort gefunden 260° 5′ Rectasc. und + 34° 22′ Decl. **). Otto Struve hat aus den Bewegungen der in Dorpat beobachteten Sterne den Ort 261° 23′ Rectasc. und + 37° 36′ Decl. berechnet.

Erwägt man, daß bei den sehr geringen Bewegungen der Fixsterne und der kurzen Zeit, innerhalb welcher sie beobachtet worden sind, die Fehlergrenzen dieser Bestimmungen immer noch einige Grad betragen können, so zeigen die angegebenen Resultate, welche auf sehr ungleiche Beobachtungsdata sich stützen, eine merkwürdig große Uebereinstimmung und die Wahrscheinlichkeit, daß die Sonne sich nach dem Sternbilde des Hercules zu bewegt, ist daher sehr groß. Bezüglich der hierbei zu befolgenden Rechnungsmethoden vergl. man Brünnow's Lehrbuch der sphär. Astronomie. 1851. S. 417 folg. — Die Größe der Sonnenbewegung ist ein ungleich schwierigerer Punkt der Untersuchung, weil hier insbesondere noch ein anderes Moment, die Entfernungen der Fixsterne von der Sonne, mit eintritt. Otto Struve hat einen Versuch gemacht die Geschwindigkeit der Sonne zu bestimmen und dieselbe von etwa 1 Meile in der Secunde gefunden; ein Resultat, welches noch sehr unsicher genannt werden muß, zumal da Struve nur zwei Fixsternparallaxen (s. u.) und gerade solche benutzt hat, deren Werthe später auf weniger als die Hälfte der früheren Annahme herabgesetzt worden sind ***). Argelander meint der Sonne eine starke Eigenbewegung zuschreiben zu müssen. Unter der Voraussetzung, daß Alcyone das allgemeine Bewegungscentrum für die Fixsterne bilde (s. u.) leitet Mädler ****) daraus, daß die Sonne, der Stern 61 im Schwan und Alcyone nahe zu ein gleichschenkliges Dreieck bilden, für die beiden ersteren gleiche Entfernung von letzterer und eine gleiche Geschwindigkeit ab. Aus der Position des Sterns 61, der Richtung und Quantität seiner Bewegung läßt sich seine wahre Eigenbewegung nach Richtung und Größe (4″,067) bestimmen und hieraus mit Zuziehung der Parallaxe des Sterns seine absolute Fortrückung im Weltraume angeben. Mädler findet dafür 11,68 Erdweiten †) jährl., wenn die Bewegung von uns unter einem rechten Winkel gesehen wird. Andernfalls würde sie noch größer sein. Dieselbe Geschwindigkeit käme nun nach den gemachten Voraussetzungen auch unserer Sonne zu, was auf $7^2/_3$ Meile in der Secunde (nahe gleich der Geschwindigkeit des innersten Planeten in seiner Sonnennähe) führte.

Die Bestimmung der Entfernung eines Fixsterns hängt von der Ermittelung seiner Parallaxe, d. h. des Winkels ab, unter welchem der Durchmesser der Erdbahn, vom Stern aus gesehen, erscheint (m. s. d. Art. Parallaxe). Nach vielen vergeblichen Versuchen im siebzehnten und achtzehnten Jahrhunderte sind erst im zweiten Viertel des jetzigen die unablässigen Bemühungen der Astronomen zur Auffindung einer Fixsternparallaxe mit Erfolg belohnt worden. Gemäß einer

*) Astron. Nachr. Nr. 398.
**) Philos. Transact. 1847. p. 98.
***) Mädler, Astron. S. 426.
****) A. a. O.
†) Die Erdweite oder mittlere Entfernung der Erde von der Sonne = 20682440 geogr. Meilen = 24043 Erdhalbmesser zu 860 geogr. Meilen.

Voraussetzung, daß die helleren Sterne auch die uns näheren seien, wurden meist Sterne erster Größe, Sirius, Wega rc. vergeblich beobachtet, bis Bessel diese Ansicht verließ und seine Aufmerksamkeit auf den durch ihn berühmt gewordenen Stern 61 im Schwan lenkte, dessen starke Eigenbewegung er schon 1812 bemerkt hatte. Die Beobachtungen dieses Doppelsterns von 1837 bis 1848 am großen Königsberger Heliometer führten ihn auf eine Parallaxe von 0″,3483, woraus sich eine Entfernung von 592200 Erdweiten und ein Lichtweg von $9\frac{1}{4}$ Jahren *) ergiebt. Die von Bessel angewandte Bestimmungsmethode der Parallaxe läuft darauf hinaus, daß nicht die Parallaxe des betreffenden Sternes selbst gefunden wird, sondern nur der Ueberschuß derselben über die Parallaxe eines ihm nahe stehenden, der aber nicht dieselbe Eigenbewegung zeigt, also nicht physisch mit ihm verbunden ist. Dieser Parallaxenunterschied kann nun als die Parallaxe des betreffenden Sterns selbst gelten, wenn die des zweiten als gänzlich unmerklich, oder innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler liegend anzunehmen ist. Um sich darüber mehr Sicherheit zu verschaffen, bestimmte Bessel die Parallaxenunterschiede von 61 im Schwan mit zwei ihm nahe stehenden Sternen, woraus sich ein Unterschied der Unterschiede hätte ergeben müssen, wenn nicht zufällig beide Sterne einerlei Parallaxe haben. Da sich aber kein solcher Unterschied ergab, so ist das obige Resultat innerhalb der Fehlergrenzen (welche für die Entfernung eine Unsicherheit bis auf $\frac{1}{2}$ Jahr Lichtweg geben) als richtig anzunehmen **).

Der Doppelstern α im Centauren am südlichen Himmel hat nach Beobachtungen von Herderson und Maclear eine Parallaxe von 0″,9213 und ist somit der nächste der bisher auf ihre Entfernung gemessenen Fixsterne (223000 Erdweiten, $3\frac{1}{2}$ Jahr Lichtweg, $2\frac{1}{2}$ Monate Unsicherheit).

Nach Struve's Beobachtungen ist die Parallaxe von α der Leyer 0″,2612 ***) (Entfernung 789400 Erdweiten, $12\frac{1}{10}$ Jahr Lichtweg, Unsicherheit 1 Jahr). Nach Peters ist sie aber viel kleiner (0″,103) und nach Airy geringer, als daß sie durch die jetzigen Instrumente gemessen werden könnte. Die Parallaxe des Arctur (α Bootis) ist nach Rümker 0″,34 (Lichtweg $9\frac{5}{12}$ J. Unsicherheit $1\frac{1}{4}$ Jahr) nach Peters nur 0″,127. Die Parallaxe des Polarsterns ist nach Peters 0″,106 ****). Der Stern 1830 des Catalogs von Groombridge, welcher, wie oben bemerkt, eine große Eigenbewegung zeigt, hat nach Peters eine Parallaxe von 0″,226.

Die Zahl der bisher aufgefundenen Parallaxen giebt Peters *****) zu 33 an. Dieselben haben aber einen sehr ungleichen Grad von Sicherheit; von ihnen verdienen folgende 9 ein verhältnißmäßig größeres Vertrauen †).

---

*) Zeit, in welcher das Licht vom Stern zu uns gelangt, wobei die Erdweite in 493 Zeitsecunden durchlaufen wird, oder die Geschwindigkeit des Lichts = 41549 geogr. Meilen ist. In einer Stunde Zeit legt das Licht einen Weg von ziemlich 150 Millionen Meilen zurück.

**) Später ist Peters auf einem anderen Wege zu einer absoluten Parallaxe dieses Sternes gekommen, welche mit der Bessel'schen übereinstimmend ist.

***) Astron. Nachr N. 396.

****) Peters in Struve's études d'astronomie stellaire. p. 100.

*****) In Struve's études d'astr. stell. p. 104.

†) Kosmos. S. 275.

Fixsterne	Parallaxe	Wahrscheinl. Fehler	Beobachter
α Centauri . . .	0″,913	0″,070	Henderson u. Maclear.
61 Cygni . . .	0″,3744 *)	0″,020	Bessel.
Sirius	0″,230		Herderson.
1830 Groombridge	0″,226	0″,141	Peters.
i Ursae maj. . .	0″,133	0″,106	Peters.
Arctur	0″,127	0″,073	Peters.
Wega	0″,107	0″,038	Peters.
Polarstern . . .	0″,106	0″,012	Peters.
Capella . . .	0″,046	0″,200	Peters.

Eine sinnreiche Methode, wie aus der Geschwindigkeit des Lichts unter Umständen die Parallaxe von Doppelsternen abgeleitet werden könne, hat Savary **) angegeben. Stehen nämlich die Bahnebene des Doppelsterns und die Gesichtslinie nach demselben nicht senkrecht auf einander, bilden sie vielmehr einen möglichst spitzen Winkel, so wird der Nebenstern nahe zu eine gerade Linie zu beschreiben scheinen, in ähnlicher Weise wie die Bewegungen der Venus und des Merkur um die Sonne von der Erde aus gesehen werden. Der Nebenstern wird in der uns zugewendeten Bahnhälfte näher stehen, als in der abgewendeten und ist dabei die Bahn so groß, daß das Licht mehrere Tage und Wochen braucht, um den Abstand zweier gegenüberliegender Punkte derselben zu durchlaufen, so wird die Zeit, in welcher der Nebenstern die uns zugewandte Bahnhälfte beschreibt, kürzer, und für die andere Hälfte länger erscheinen, als man nach den durch die Attractionsgesetze geregelten Bewegungen und Geschwindigkeiten erwarten sollte. In der Summe beider Zeiten heben sich die durch die Geschwindigkeit des Lichts verursachten Ungleichheiten derselben wieder auf, und man erhält damit die wahre Umlaufszeit des Nebensterns. Verwandelt man aber jene Ungleichheiten in ein Längenmaß (1 Stunde Lichtweg = circa 150 Millionen Meilen oder 1 Tag = 3589 Mill. Meilen), so läßt sich die absolute Größe eines der Bahnelemente, z. B. die große Axe, oder der den größten Elongationen entsprechende Durchmesser der Bahn ableiten und hieraus mit Hülfe der scheinbaren Größe dieser Bestimmungsstücke, oder des Winkels unter welchem dieselben uns erscheinen, die Entfernung berechnen.

Wären die Entfernungen einer hinlänglich großen Anzahl von Fixsternen bekannt, so könnte mit Berücksichtigung der Eigenbewegungen derselben und der Sonne nach Richtung und Größe die Untersuchung über die Gruppirung der Fixsterne zu einzelnen Systemen und zu einem größeren Ganzen strenger durchgeführt werden, als es nach den bisherigen Hülfsmitteln und Unterlagen möglich ist. Einen Versuch hierzu hat Mädler in seinen „Untersuchungen über die Fixsternsysteme" ***) gemacht. Nach demselben liegt in der Alcyone (η Tauri), einem

*) Durch Wärme-Correctionen aus dem Bessel'schen Resultate von Peters abgeleitet.

**) Connaissance des tems pour 1830. p. 56 u. 163. Struve stellar. compos. mensurae microm. p. CLXIV.

***) Zu vergleichen sind damit Argelander's Untersuchungen bezüglich eines im

Sterne in der Plejadengruppe, „das allgemeine Bewegungscentrum für alle die Millionen Sonnen, mit Inbegriff ihrer eignen Systeme, und bis zu den entferntesten Regionen der Milchstraße hin" *). Dieses Bewegungscentrum ist jedoch nicht so aufzufassen, als ob der genannte Stern zugleich ein ebenso an Masse überwiegender Centralkörper, oder eine Centralsonne für die Fixsterne sei, wie unsere Sonne in ihrem Systeme es bezüglich aller Planetenmassen ist. Ein Bewegungscentrum ist vielmehr auch möglich, ohne daß es durch eine besondere Masse ausgefüllt wird, wie die Bahnen der Doppelsterne, bei denen sich Haupt- wie Nebenstern um den gemeinsamen, durch keine Masse markirten Schwerpunkt bewegen, am einfachsten zeigen. Das Weitere über die Vertheilung der Sterne am Himmel s. m. in den Art. Milchstraße, Nebelflecke, Sternhaufen. We.

Flamme ist der einen brennenden Körper umgebende Raum, in welchem die Verbrennung von Gasen stattfindet.

An sich gasförmige Körper oder solche, welche beim Verbrennen blos Gasarten entwickeln, brennen stets mit einer Flamme; feste und tropfbare Körper hingegen, wenn beim Verbrennen keine flüchtigen Producte gebildet werden, glühen nur, entstehen aber flüchtige und nicht flüchtige Producte zugleich, so zeigt sich Gluht und Flamme.

Bei näherer Betrachtung einer Flamme zeigt sich bald, daß sich der ganze Flammenraum nicht in einem und demselben Zustande befindet. Nur an den äußersten Theilen, so weit eine Berührung mit der atmosphärischen Luft, oder mit dem Sauerstoffe möglich ist, findet ein wirkliches Brennen statt, während im Innern die Theile, ohne zu verbrennen, nur bis zum Leuchten erhitzt sind. Hiervon kann man sich leicht überzeugen. Der Docht einer Spirituslampe z. B. verbrennt nicht, sondern bleibt unverändert, sogar kalt; oder bei recht dickem Dochte kann man ein Stückchen Phosphor oder Schwefel mitten in die Flamme von Spiritus thun, ohne daß es sich entzündet, obgleich es durch die Hitze zum Schmelzen, selbst zum Kochen kommt, während das Verbrennen augenblicklich erfolgt, so bald man mit dem Löthrohre Luft hineinbläst; ferner ein quer durch die Flamme gehaltener dünner Platindraht glüht an den Punkten, welche am Rande der Flamme liegen, am stärksten; auch kann man in diesen inwendig hohlen Feuerkegel hineinsehen, wenn man seine Spitze durch ein Drahtnetz abschneidet, wobei die Flamme als ein leuchtender Ring, in der Mitte dunkel und gleichsam mit Rauch gefüllt, erscheint.

Die größten Verdienste um die genaue Kenntniß der Flamme hat sich Humphry Davy **) erworben. Nach seinen Versuchen beruht das helle Licht einer Kerzenflamme fast ganz allein auf dem Erglühen des feuerbeständigen Kohlenstoffs in dem glühenden Theile der Flamme; überhaupt hat er nachgewiesen, daß nur undurchsichtige und feste Körper im Stande sind, beim Glühen stark zu leuchten. Einen Beleg für das Verhalten der durchsichtigen und undurchsichtigen Körper liefern z. B. zwei gleichgroße Stücken Bergkrystall und Kreide. Setzt

---

Perseus liegenden Bewegungsmittelpunktes in der Schrift „über die eigene Bewegung des Sonnensyst." S. 43 u. Astron. Nachr. Nr. 566.

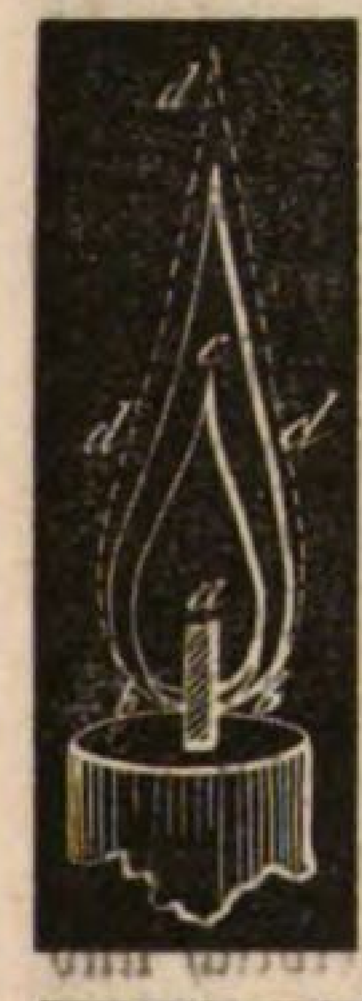
*) Mädler's Astronomie. S. 414.

**) Schweigger's Journ. Bd. XLVIII. S. 52; Gilb. Ann. Bd. LV. S. 1 u. Bd. LVI. S. 128.

man beide genau demselben Grade von Weißglühhitze aus, so strahlt die Kreide im hellsten Lichte, während der Bergkrystall nur wenig leuchtet. Um ferner das Verhalten fester Körper im Gegensatze zu luftförmigen durch ein Beispiel zu veranschaulichen, wählen wir die aus Sauer- und Wasserstoffgas im Raumverhältnisse von 1 : 2 gemischte Knallluft. Die Flamme dieser Luft leuchtet, ungeachtet des enormen Hitzegrades, bei welchem ein Platindraht nach kurzer Zeit schmilzt, schwächer als die Weingeistflamme, weil das Product der Verbrennung Wasser im luftförmigen Zustande ist; bringt man aber ein Stückchen Kreide in dieselbe, welches hierbei bald die stärkste Weißglühhitze erlangt, so entsteht eine dem Sonnenlichte gleichkommende Helligkeit.

So wie die Knallluft verhalten sich alle Gase und brennbaren Dämpfe, welche beim Verbrennen wieder luftförmige Producte liefern, z. B. Wasserstoffgas, Kohlenoxydgas, Schwefel; bringt man aber einen feuerbeständigen Körper in ihre Flamme, z. B. Platindraht, Asbestfäden, Zinkoxyd, so wird die Leuchtkraft sofort verstärkt. Das starke Leuchten des Drummond'schen Lichtes, um dies glanzvolle Beispiel hier zu erwähnen, beruht auf dem Einbringen eines Kalkkügelchens in den Vereinigungspunkt von 4 durch Sauerstoffgas angeblasenen Weingeistflammen. Bei zwei Knallgasflammen und einer Kalkkugel von $^3/_8$ Zoll Durchmesser war das Licht dem von 13 Argand'schen Lampen gleich. Bei einem Versuche auf einem Leuchtthurme war das Licht $9^1/_2$ bis 14 deutsche Meilen weit sichtbar. Das Kalkkügelchen steht in dem Brennpunkte eines Hohlspiegels und wurde 1831 von Drummond zum Signallichte bei geodätischen Vermessungen benutzt *). Wird durch das Verbrennen selbst ein feuerbeständiger Körper erzeugt, so entsteht auch eine hellleuchtende Flamme, z. B. bei Phosphor und Zink im Sauerstoffgase wegen der Phosphorsäure und des Zinkoxydes, ebenso beim Kalium im Chlorgase wegen des Chlorkaliums.

Sind die brennenden Körper zusammengesetzt und entwickeln sie verschiedenartige Stoffe, so ist die Stärke und Farbe des Lichtes verschieden. Am einfachsten und deutlichsten sind diese verschiedenen Theile an der Flamme einer brennenden Talg- oder Wachskerze zu erkennen, weshalb wir dies als Beispiel durchführen wollen, weniger deutlich an einer Oelflamme. — Man kann an der Flamme der Kerze folgende Theile unterscheiden **): 1) einen dunklen, nach oben zu gespitzten Kern a (s. beistehende Figur) im Inneren, dessen Basis unmittelbar am Dochte ist; 2) rings um den unteren Theil des Dochtes einen hellblauen Theil b b; 3) eine den dunklen Kern a umgebende, sehr hellleuchtende weiße Hülle c, welche sich über ihn erhebt und zuspitzt; endlich 4) einen weniger leuchtenden, erst bei genauerer Betrachtung der Flamme wahrnehmbaren Saum d d d, welcher den hellleuchtenden Theil rings umgiebt und nach oben etwas breiter wird. — Wenn

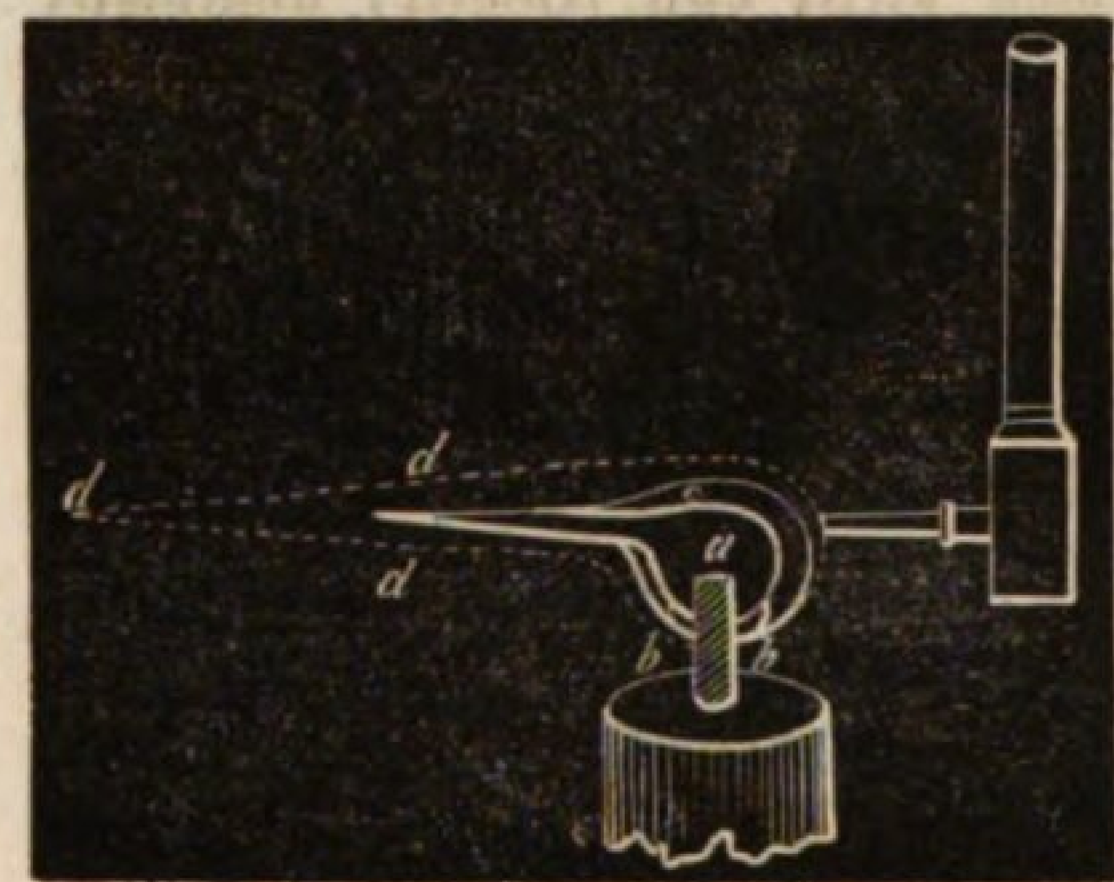


*) Poggend. Ann. Bd. VII. S. 120. u. Bd. IX. S. 170; vergl. auch Bd. XXXIII. S. 404. Bd. XL. S. 547 u. Berliner Gewerbebl. 1844. Bd. XIII. S. 13.

**) Berzelius: die Anwendung des Löthrohres in der Chemie und Mineralogie. 3. Aufl. Nürnberg 1837. S. 25—27 und Taf. II. Fig. 16 u. 17; Plattner: die Probirkunst mit dem Löthrohre ꝛc. Leipzig 1835. S. 6—9 und Taf. I. Fig. 4 u. 10; Knapp: Lehrbuch der chemischen Technologie. Braunschweig 1844. S. 110. Schubarth, Elemente der technischen Chemie. Berlin 1831. Bd. I. S. 80 u. 88. Taf. I. Fig. 17—18.

man mittelst des Löthrohrs Luft in die Flamme hineinbläst, so ändert sich die Anordnung der Theile, wie Figur I. zeigt. Die hellleuchtende Partie in vorstehender Figur S. 237 wird viel kleiner, dagegen die brennende d viel größer und der dunkle Kern a verkürzt sich beträchtlich.

I.



Dies Ergebniß der Untersuchung der Kerzenflamme hat indessen in neuerer Zeit eine wesentliche Berichtigung erfahren durch Otto Volger *). Die Untersuchung ist sehr speciell, und die Abhandlung mit vorzüglichen, colorirten Abbildungen versehen; hier wird es genügen das Wesentliche hervorzuheben.

Zündet man eine Kerze oder Lampe an, so entsteht zuerst eine Flamme verbrennenden Kohlenoxydgases, Wasserstoffgases und Kohlenstoffs, welche mit schwachem, röthlich violettem Scheine den Raum erfüllt, innerhalb dessen jene Gase mit der Luft in Berührung treten. Die Gase selbst bilden ein plattrundes Kügelchen (s. Fig. II.), dessen dunkler Inhalt durch die umgebende Flamme mit prachtvoll lasurblauer Farbe hindurchscheint; gewöhnlich bemerkt man nur dies blaue Kügelchen allein, welches auf der Spitze des Dochtes wie ein Knäulchen zu schweben pflegt; bei genauerer Betrachtung und günstigem Hintergrunde sieht man den röthlich violetten Flammenschein aber allemal. Diesen röthlich violetten Flammenschein nennt Volger den Schleier der Lichtflamme, die ganze Erscheinung aber die Flammenknospe. Nur im ersten Anfange hat die Flammenknospe eine platte Form, gleich darauf beginnt die Flamme zu schwellen. Die große Hitze nämlich, welche durch die Verbrennung des Wasserstoffgases innerhalb des Gaskügelchens, so wie in dem von ihm umhüllten Theile des Dochtes, hervorgebracht wird, bewirkt nun eine Sublimation und Zersetzung der fetten Säuren (Stearin-, Margarin-, Elain-, oder Oleinsäure). Sobald die Zersetzungsproducte der letzteren in ihren Bestreben aufwärts zu steigen sich der äußeren Grenze des blauen Kügelchens und somit der heißen Sphäre des verbrennenden Wasserstoffgases nähern, geschieht die Zerlegung der Kohlenwasserstoffgase in Kohlengas und Wasserstoffgas. Letzteres eilt augenblicklich zur Verbrennung, während die schwereren Kohlenstofftheilchen nur durch die Hitze und den Strom des Wasserstoffgases mit in die Höhe gerissen werden und erst in der äußeren Umgrenzung der Wasserstoffflamme verbrennen. Während dieselben den Weg durch die Wasserstoffflamme machen, erglühen sie mit blendend weißem Lichte, welches durch die röthlich violette Wasserstoffflamme theils kaum geschwächt, theils gelblich und röthlich hindurchscheint. Dieser ganze Proceß bildet das zweite Stadium der Flamme — es beginnt die Knospe zu schwellen, und plötzlich erscheint auf dem Gipfel derselben, wo die Wasserstoffflamme rasch emporwächst, ein glänzend leuchtender Punkt (s. Fig. III.), der schnell das blaue

II.



III.



*) Poggend. Ann. Bd. LXXII. S. 82.

Kügelchen nach oben durchbricht. Das Kügelchen nennt Volger nun die Hülle der Knospe.

Im dritten Stadium sind Hülle und Schleier, wie der Kelch einer Blume geöffnet (s. Fig. I.) und bilden die äußere Flamme, aus welcher die innere Flamme mit ihren verschiedenen Theilen als ein stumpfer Kegel hervorgebrochen ist. Die verschiedenen Theile dieser letzteren zeigen sich hier bereits deutlich. Die ganze Flamme hat einen Theil des Dochtes erfaßt und ist durch die damit verbundene stärkere Destillation und Zersetzung gewachsen. Zunächst um den Docht befindet sich der dunkle Gaskern; dieser ist aber hier nicht mehr kugelförmig, sondern kegelförmig, eine Gestalt, welche dadurch hervorgebracht wird, daß die Gase, im Begriffe nach oben sich zu verflüchtigen, mehr und mehr mit der Luft in Berührung kommen und somit durch Verbrennung vermindert werden.

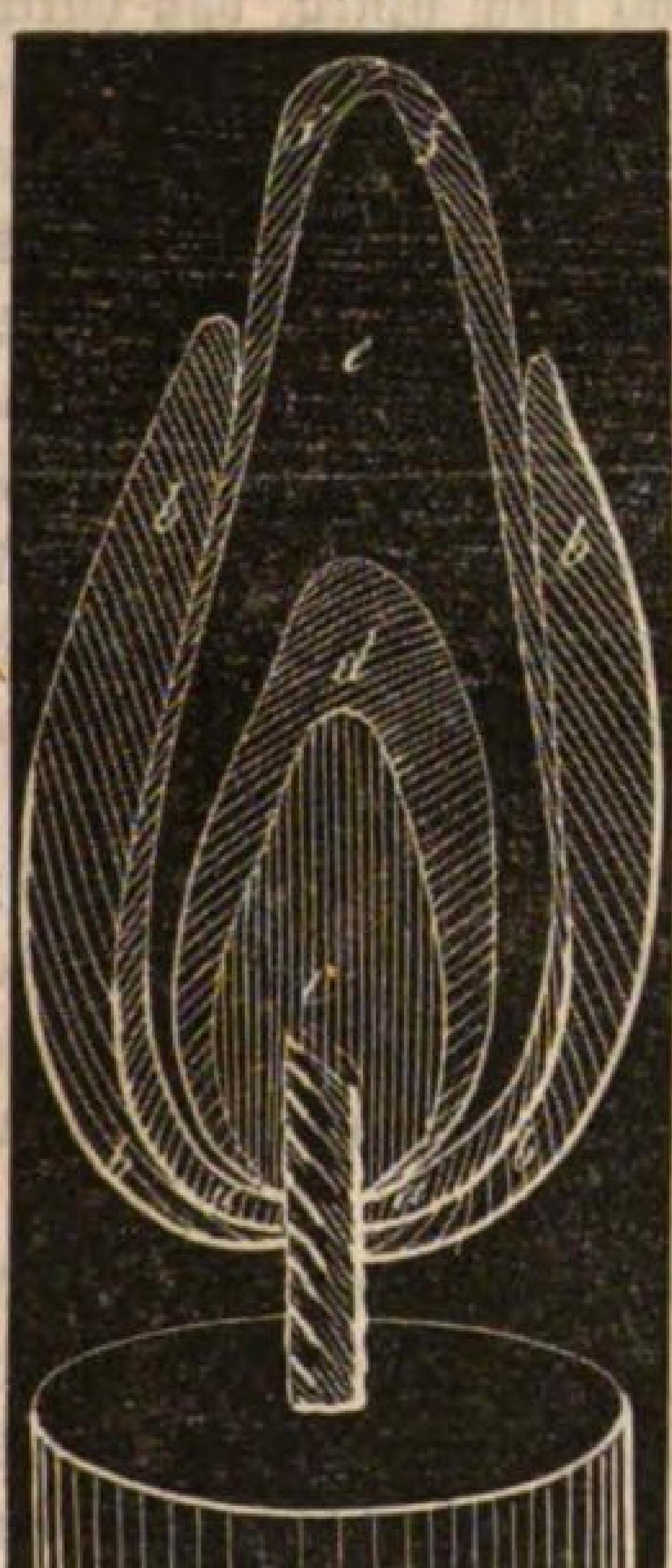
I.



Der dunkle Kern besteht in seinem innersten und bedeutendsten Theile aus den unmittelbaren Zersetzungsproducten der Fettsäure. — Dieser innerste Gaskegel des Flammenkerns ist umhüllt von einem ebenfalls zum dunklen Kerne gehörenden Hohlkegel der bereits in Kohlenstoff und Wasserstoffgas geschiedenen Zersetzungsproducte; die Hitze in diesem Theile, den Volger die innere Mütze nennt, ist sehr bedeutend, und der Kohlenstoff glüht darin schwach, so daß ein röthlich dunkler Schein diese Mütze des innersten Kegels bezeichnet.

Diese innere Mütze ist nicht zu verwechseln mit der bei weitem größeren und ausgezeichneteren äußeren Mütze, welche aus den in der inneren von einander befreiten Gasen besteht, die hier aber mit dem Sauerstoffe der Luft verbrennen. Es ist eine große Wasserstoffgasflamme, in welcher die Kohlentheilchen blendend weiß erglühen und sodann verbrennen. Sie verbrennen besonders im mittleren Theile der Flamme; der untere Rand dieser Mütze, welcher im Querschnitte in zwei Spitzen erscheint, ist noch nicht brennendes, sondern nur stark glühendes Gas, indem von diesem Theile der Zutritt der Luft durch die Hülle abgeschlossen ist, und daher glühen hier die Kohlentheilchen auch noch nicht so hell. In der Spitze der äußeren Mütze dagegen und überhaupt in den äußersten Theilen derselben verbrennt der Kohlenstoff mit dem Wasserstoffe zugleich, und leuchtet daher nicht mehr, so daß hier die Mütze eine röthlich violette Umgebung besitzt, welche dem Schleier völlig gleicht, auch ebenso wie dieser keinen Ruß giebt, aber eine sehr heftige Gluht entwickelt.

II.



In der höchsten Entwickelung der Flamme unterscheidet nun Volger abweichend von den früheren Beobachtern nicht 4, sondern 6 Theile, nämlich in Fig. II. ist

a die Hülle,	b der Schleier,
c der innerste Kegel,	d die innere Mütze,
e die äußere Mütze,	f die Umgebung von e.

Der Schleier und die ihm ganz ähnliche Umgebung der leuchtenden Mütze pflegen sich bei einer lebhaften

Flamme zu vereinigen, besonders bei breiten Flammen. — Daß im Schleier der Kohlenstoff nicht leuchtet, hat seinen Grund darin, daß dort derselbe nicht glüht, sondern brennt, wie in der Umgebung der Lichtmütze.

Eine Folge dieser genauen Untersuchung ist nun auch, daß Volger über die Löthrohrflamme eine andere Ansicht aufstellt, namentlich ist der sich dann im Innern bildende blaue Kegel nach ihm der innerste Gaskegel und nicht, wie Berzelius meint, die durch das Blasen nach innen gedrückte äußere Hülle der ruhigen Flamme, wie sich dies auch daraus ergiebt, daß die Hülle und der Schleier beim Gebrauche des Löthrohrs ganz ungestört bleiben.

Wegen der Verbrennungsproducte der Flamme verweisen wir auf Volger's Abhandlung, ebenso wegen der Löthrohrflamme, über welche indessen der Artikel: Löthrohr noch ausführlich handelt.

So wie wir hier bei der Kerzenflamme in dem im Innern schwebenden glühenden Kohlenstoffe die Ursache der Leuchtkraft erkannt haben, ist es auch anderwärts der Fall; alle die Brennstoffe leuchten bedeutend, welche verhältnißmäßig reich sind an Kohlenstoff. Die Menge des Kohlenstoffes ist indessen an eine gewisse Grenze gebunden und abhängig von dem Sauerstoffquantum, welches in einer gewissen Zeit der Flamme zugeführt wird. Ist die Menge des Kohlenstoffs zu groß, so verbrennt derselbe nicht vollständig, und Folge davon ist, daß die Flamme trübe wird und Ruß aufsteigen läßt, also blakt. Die gewöhnliche Küchenlampe ist einerseits und der Argand'sche Brenner andererseits ein Beleg hierfür. Jene brennt mit wenig leuchtender rother Flamme und blakt auf unangenehme Weise, es fehlt ihr aber wegen des dicken zusammengedrehten Dochtes an ausreichendem Sauerstoffe; dieser giebt der Flamme auch im Inneren Nahrung, das Verbrennen wird dadurch vollständiger, die Flamme hellleuchtend und es steigt kein Rauch auf. Bei den Argand'schen Brennern kommt noch hinzu, daß durch einen aufgesetzten Schornstein (Glascylinder) auch auf der Außenseite der Lichtstrom verstärkt und so in der äußeren Hülle ein vollständiges Verbrennen zu Stande gebracht wird; entfernt man den Cylinder oder schließt man die in das Innere des Dochtes führende Oeffnung, so ist das Sauerstoffquantum nicht mehr ausreichend und die Lampe blakt. Erfahrungsgemäß brennen in gewöhnlicher Luft nur diejenigen Stoffe mit leuchtender aber nicht rußender Flamme, welche auf 6 Gewichtstheile Kohlenstoff 1 Gewichtsth. Wasserstoff enthalten. Camphin z. B. rußt, weil das Verhältniß $6^1/_4 : 1$ ist. — Daß die Löthrohrflamme eben wegen des ins Innere geführten Luftstromes nicht so stark leuchten kann, wie die gewöhnliche Kerzenflamme, versteht sich von selbst.

Ueber das Leuchten der Flamme giebt auch folgender Versuch Aufschluß: Wenn man gutes Steinkohlengas mit so viel atmosphärischer Luft vermischt, wie zu seiner vollständigen Verbrennung erforderlich ist, so zeigt sich bei eintretender Entzündung eine Explosion mit schwacher Lichtentwickelung; nimmt man aber weniger Luft, so leuchtet es sehr hell.

Ebendahin gehört auch Folgendes: Hält man ein aus Eisendraht gefertigtes Gewebe nahe über eine Oeffnung, aus welcher Leuchtgas vertical ausströmt, und entzündet das Gas über demselben, so leuchtet die Flamme ziemlich stark, weil das Gas vor dem Verbrennen sich nicht mit atmosphärischer Luft mischen konnte; hält man aber hierauf das Gewebe in einer größeren Entfernung, so verliert die Flamme immer mehr an Leuchtkraft, zeigt endlich nur noch eine bläuliche Farbe, weil nun

schon vor dem Verbrennen das erforderliche Sauerstoffquantum dem Gase zugeführt wurde. Nähert man das Gewebe wieder der Oeffnung, so nimmt auch wieder die Leuchtkraft zu.

Wenn den brennenden und glühenden Gasarten durch Hineinhalten guter Wärmeleiter ein Theil der zum Verbrennen nöthigen Wärme entzogen wird, so kann die Flamme auch nicht mehr bestehen. Dies herbeizuführen wird natürlich um so leichter gelingen, ein je höherer Grad von Erhitzung zum Verbrennen erforderlich ist. Hält man z. B. ein Eisendrahtgewebe von je 100 Oeffnungen auf den Quadratzoll in eine brennende Gasflamme, so geht die Flamme erst dann durch, wenn das Gewebe glühend ist. Hat das Gewebe wenigstens 800 Oeffnungen auf den Quadratzoll, so geht, selbst wenn dasselbe glüht, die Flamme des Leuchtgases nicht mehr hindurch, weil das ölbildende Kohlenwasserstoffgas zum Verbrennen eine sehr hohe Temperatur verlangt, die Menge des Drahtes aber zu abkühlend wirkt, als daß das Verbrennen stattfinden könnte *). Davys Sicherheitslampe **) (s. Art. Sicherheitslampe) gründet sich hierauf, desgleichen Aldini's Sicherheitspanzer ***), welcher aus einem aus Metalldrahte geflochtenen Ueberkleide besteht, unter welchem ein mit Salz getränktes Wollenkleid oder ein Asbestgewebe sich befindet. Von ferneren Anwendungen sei noch erwähnt die Vorkehrung bei dem Newman'schen Knallgasgebläse ****), durch welche der Explosion vorgebeugt, und die Einrichtung des Regenerator bei der Ericsson'schen calorischen Maschine, durch welche die heiße Luft abgekühlt wird.

Der Dieb oder Räuber an den Lichtkerzen hat eine ähnliche Wirkung auf die Flamme. Gelangt der Docht seitwärts oder nach oben in die Sphäre der Verbrennung, also bis über den Schleier oder bis in die Lichtmütze (nach Volger's Terminologie), so beginnt derselbe, als Kohle zu erglühen und zu verbrennen. Da er aber kühler ist als die leuchtende Mütze und der Schleier, so sublimirt sich leicht der Kohlenstoff an ihm, wie an einem in die Flamme getauchten Drahte, und bildet einen schwarzen Schild, Dieb oder Räuber, welcher die Flamme verdunkelt *****).

Nach Versuchen von Döbereiner †) scheint das Hellleuchten der Flamme auch durch Compression der Gasarten hervorgebracht zu werden. Denn Knallgas in einer 1 bis 2 Cubikzoll haltenden starken Glaskugel, die inwendig recht trocken und luftdicht verschlossen war, gab bei der Verpuffung dasselbe glänzende Licht, wie in Sauerstoffgas verbrennender Phosphor. Wird das Kallgas nur mit dem Drucke von 2 Atmosphärn in dieser Kugel comprimirt, so verbrennt es bei dem Entzünden mit dem Glanze des Blitzes, so daß der Raum (des Laboratoriums), worin das Experiment gemacht wird, am hellen Tage wie von dem stärksten Blitze erhellt, und bei Nacht wie vom Sonnenlichte beleuchtet wird, wobei Austerschalen, welche mit Schwefel gebrannt worden, zum glänzenden Phosphoresciren (s. d. Art. Phosphorescenz) gebracht werden können." Ist die Kugel feucht, oder bleibt der Hahn während der Explosion offen, so verbrennt das Knallgas nur mit schwachem

---

*) Poggend. Ann. Bd. X. S. 294.
**) Gilb. Ann. Bd. LVI. S. 112. 437.
***) Dingler's polyt. Journ. Bd. XXXV. S. 364.
****) Gilb. Ann. Bd. LV. S. 1; Bd. XXII. S. 277 u. 339 auch Bd. LXII. S. 270.
*****) Poggend. Ann. Bd. LXXII. S. 94.
†) Schweigg. Journ. 62, 87.

Lichte. Döbereiner sagt: „Wenn das lebhafte Leuchten der starren Materie das Resultat einer großen Anhäufung oder Verdichtung der Wärme ist, so müssen auch die gasförmigen Stoffe, welche bei der Verbrennung irgend einer Materie entstehen, bis zum stark leuchtenden Glühen erhitzt werden, wenn die repulsive Thätigkeit der während des Verbrennens nöthigen Wärme möglichst beschränkt und diese gleichsam comprimirt wird."

Viele Körper brennen mit einer eigenthümlich gefärbten Flamme, die bei Löthrohrversuchen oft als Reagens für die verschiedenen Stoffe dienen kann (s. Art. Löthrohr). Nach Vogel *) brennt Alkohol mit gelber Flamme, wenn man Salze darein thut, welche Ammoniak, Natron, Mangan, Eisen, Quecksilber, Platin, Gold, Nickel oder Wismuth zur Basis haben; mit rother Flamme, wenn die Salze Kalk, Strontian, Lithion oder Magnesia zur Basis haben; mit grüner, wenn es Kupfer-, Uran- oder Thonerde-Salze, Borsäure oder schwache Salznaphtha ist. Ueber Lithion hat Turner namentlich Versuche angestellt **); doch gehört dies mehr in den Art. Löthrohr, der deshalb zu vergleichen ist. Selen giebt ein azurblaues Licht. Phosphor, Zink und Arsenik brennen weiß, worauf auch die Bereitung des indianischen Weißfeuers sich gründet, welches aus 24 Theilen Salpeter, 2 Th. rothem Schwefelarsenik (Realgar) und 7 Th. Schwefel besteht. Bei Untersuchung der Farbe der Flammen muß man nicht erwarten, daß sie fortwährend diese Färbung zeigen; es scheint nur auf dem Moment beschränkt, wo die Beimischungen das Wasser fahren lassen, und man ist auch im Stande durch Eintauchen in Wasser und neues Erhitzen die Flamme wieder hervorzurufen. — Die Farbe der Flamme hängt übrigens nicht allein von der verschiedenen Natur des brennenden Körpers und von der Beimischung ab, sondern auch von dem Hitzegrade, bei welchem das Verbrennen geschieht. Bei mäßiger Hitze und unvollkommenem Luftzuge verbrennen die meisten Brennmaterialien nur mit gelblicher oder bläulicher Flamme, wie wir dies oben bei der Kerzenflamme im ersten Stadium des Brennens und dann an der Flammenbasis gesehen haben; je vollständiger aber die Verbrennung und je größer der Hitzegrad wird, desto weißer und hellleuchtender wird die Flamme. — Ferner ist die Farbe abhängig von der umgebenden Atmosphäre. So brennt Schwefel in atmosphärischer Luft mit bläulicher, im Sauerstoffgase mit violetter und im Stickstoffoxydulgase mit gelblich rother Flamme.

Man benutzt die verschiedenen Flammenfärbungen auch bei Feuerwerken zur Erzeugung bunter Flammen, indem man etwas von den färbenden unbrennbaren Substanzen zwischen ein Gemisch aus 80 Theilen chlorsaurem Kali und 20 Th. Schwefel mengt. Beim Glühen werden die festen Körper mit in die Flamme gerissen und färben dieselbe. Prechtl ***) führt folgende Beimengungen an: Zum Erzeugen bunter Flammen dient als Grundlage der Chlorkalischwefel. Für jede verschiedene Farbe werden auf 100 dieses Gemenges 30 bis 50 Procent einer fein gepulverten unbrennbaren Substanz gegeben, die beim Glühen eine bunte Farbe zeigt, und so, in der Flamme mit aufgerissen, diese färbt. Diese unbrenn-

*) Isis. Bd. XXI. S. 529.
**) Poggend. Ann. Bd. VI. S. 482.
***) Technol. Encykl. Bd. VI. Art. Feuerwerkerei. S. 47.

baren Substanzen sind für roth: kohlensaurer Strontian (30 Th. auf 100 Chlorkalischwefel); dunkelrosa: kohlensaurer Kalk (gebrannte Austernschalen, Kreide, 40 Th.); hellrosa: Fluorcalcium (Flußspath) (30 Th.); gelb: geglühtes kohlensaures Natrum (50 Th.); dunkelblau: schwefelsaures Kupferoxydammoniak (30 Th.) mit schwefelsaurem Kali (30 Th.) gemengt; hellblau: schwefelsaures Kali (20 Th.); grün: kohlensaurer Baryt (20 Th.); hellgrün: Boraxsäure (20 Th.); violett: schwefelsaures Kali und kohlensaurer Kalk zu gleichen Theilen (zusammen 40 Theile); orange: kohlensaurer Kalk und kohlensaures Natrum (im Verhältniß 1:3 gemengt, zusammen 40 Th.). Will man bei den bunten Flammen eine langsamere Verbrennung, als diese Mischungen geben, so menge man den Chlorkalischwefel mit 30 bis 50 Procent Salpeterschwefel, ehe man die unbrennbare Substanz zugiebt. Dies ist besonders bei Theaterfeuern nöthig, die nicht direct, sondern blos durch den Reflex wirken, und wo neben der Färbung der Flamme auch ein intensives weißes Licht erzeugt werden muß, um das gelbe Lampenlicht zu überragen (todt zu machen). — Für die Theaterfeuer, zu den an Fallschirmen schwebenden Raketenausstößen rc. sind folgende Mengungen von überraschender Wirkung: Hellroth: 50 Salpeterschwefel, 50 Chlorkalischwefel, 20 Kreide, 10 Schießpulver. — Dunkelpurpur: 76 gut getrockneter salpetersaurer Strontian; 24 Schwefel, 50 Chlorkalischwefel. — Blau: 50 Salpeterschwefel, 50 Chlorkalischwefel, 40 Kupferoxyd-Ammoniak, 20 schwefelsaures Kali. — Grün: 80 gut getrockneter salpetersaurer Baryt, 20 Schwefel, 35 Chlorkalischwefel. — Gelb: 50 Salpeterschwefel, 50 Chlorkalischwefel, 40 geglühtes kohlensaures Natrum. — Violett und Orange werden gemischt aus den Grundfarben. — Die Flamme von Weingeist *) wird (was wir hier auch gleich mit angeben wollen) gefärbt: roth durch Chlorstrontium, orange durch Chlorcalcium; gelb durch kohlensaures Natrum; grün durch Boraxsäure und Grünspan; blau durch kohlensaures Kali; violett durch salpetersaures Kali. — Den Lunten, die zur Darstellung von Decorationen dienen sollen sollen, giebt man eine blaue Flamme durch Eintauchen in geschmolzenen Schwefel, eine grüne, wenn man dem Schwefel Grünspan, eine weiße, wenn man ihm Salpeterschwefel, eine rothe, wenn man ihm salpetersauren Strontian und etwas Schwefelantimon zusetzt."

Das Licht der gefärbten Flammen ist nicht homogen (einfarbig), sondern wird durch das Prisma in mehrfarbiges Licht zerlegt, wobei nach Fraunhofer **) in dem Spectrum sich zwischen dem Rothen und Gelben ein heller, scharf begrenzter Streifen zeigt, welcher bei allen untersuchten Flammenlichte ein und dieselbe Stelle einnahm; er scheint von homogenem Lichte herzurühren, welches von beiden Enden der Flamme, besonders von dem unteren, ausgeht. Auch im grünen findet sich ein ähnlicher, aber viel schwächerer und nicht so scharf begrenzter Streifen ***). — Das Licht der Löthrohrflamme und des Glasblasetisches

---

*) Die Flamme des Weingeistes wird durch diese Mittel nicht gleich anfangs beim Brennen, sondern erst nach einigen Minuten gefärbt; dies kann sehr überraschende Wirkungen geben, da mehrere Flammen neben einander gestellt, erst alle gleich (blau) brennen, und dann allmälig verschiedene Farben annehmen. Will man gleich anfangs die bunte Farbe, so lege man Baumwolle in den Weingeist.

**) Gilb. Ann. Bd. LVI. S. 270. 310 u. Bd. LXXIV. S. 370.

***) Vergl. Poggend. Ann. Bd. XVI. S. 186 u. Bd. XXXI. S. 592.

ist nach Brewster und Frauenhofer an der vorderen Hälfte homogen und wird durch das Prisma nicht zerlegt. — Die gelbliche und bläuliche Flamme des brennenden schwachen, d. h. sehr wasserreichen Weingeistes, namentlich wenn derselbe stark erhitzt ist, strahlt nach Brewster *) homogenes Licht aus, worauf er seine Einrichtung einer monochromatischen Lampe zu mikroskopischen Untersuchungen gründete. Später überzeugte sich jedoch Brewster **), daß jede Weingeistflamme monochromatisch wird, wenn man den Dacht vorher in Salzwasser tränkt und wieder trocknet, oder wenn man dem zu verbrennenden Weingeiste Kochsalz zugesetzt. Talbot ***) soll diese letztere Beobachtung schon früher gemacht haben. Nach Wilde ****) ist diese Flamme indessen doch nicht vollkommen homogen, sondern eine Mischung aus Gelb und Violett, also eher orangefarben als gelb; doch erklärt er sie zu den meisten Untersuchungen, bei denen man homogenes Licht bedarf, homogen genug.

In Beziehung auf andere physikalische Eigenschaften der Flamme erwähnen wir hier, da dieselben in anderen Artikeln ihre Erledigung finden, kurz noch Folgendes:

Nach Rumford's photometrischen Messungen *****) ist die Lichtmenge, welche beim Brennen entbunden wird, der Menge des verzehrten Brennmaterials nicht proportional.

Das Licht brennender fester und tropfbarflüssiger Körper ist polarisirt, das brennender Gasarten nicht.

Von den elektrischen Eigenschaften der Flamme sei hier nur bemerkt, daß dieselbe leitend wirkt. P. Rieß hat alles Historische, was sich hierauf bezieht, zusammengestellt †) und eine Erklärung gegeben, die sich namentlich darauf gründet, daß die Flamme mit einer Menge nach allen Seiten in die Luft hinausragender Spitzen versehen sei; hiergegen ist von Rees aufgetreten ††) und findet den Grund in der Beweglichkeit der Flammentheilchen und der der leitenden Gassäule. Von anderen Ansichten verdient allenfalls die von Petrina †††) eine Erwähnung. Er meint, daß der zur Flamme hinzuströmende Sauerstoff nur bei einem bestimmten elektrischen Zustande eine chemische Verbindung eingehe und diesen Zustand bis auf eine beträchtliche Entfernung von der Verbindungsstelle annehme und behaupte. Es fehlt indessen noch an der Begründung dieser Ansicht.

Ueber die diamagnetischen Eigenschaften der Flamme verweisen wir auf den Artikel Magnetismus, und wird es an dieser Stelle genügen die von Zantedeschi ††††) gemachte Entdeckung kurz dadurch zu charakterisiren,

---

*) Poggend. Ann. Bd. II. S. 98 aus Transact. of the Edinb. Phil. Soc. T. IX. p. 433.

**) Edinb. Journ. of Science. N. Ser. I. p. 108.

***) Poggend. Ann. Bd. XVI. S. 382 aus Edinb. Journ. of Sc. N. Ser. IX. p. 77.

****) Poggend. Ann. Bd. LXXX. S. 413.

*****) Gilb. Ann. Bd. XLVI. S. 225.

†) Poggend. Ann. Bd. LXI. S. 545 ff.

††) Het instituut of verslagen etc over de Jar 1846. No. I. p. 62; vergl. auch Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 568. Bd. LXXIII. S. 41. u. 307 u. Bd. 74. S. 379.

†††) Poggend. Ann. Bd. LVI. S. 459.

††††) Phil. Magaz. Ser. III. Vol. 31. p. 401 u. Poggend. Ann. Bd. 73. S. 256 von Faraday, S. 286 von Zantedeschi und S. 549, besonders S. 558 ff. von Plücker.

daß eine Flamme aus der die Magnetpole verbindenden axialen Linie fortgestoßen wird. H. E.

Flasche, elektrische. Kleist'sche Flasche, Leidner Flasche, Ladungsflasche, Verstärkungsflasche. (Phiola Leidensis, Phiola electrica, Lagena armata; Bouteille de Leyde, Bouteille électrique; Phiol of Leyde.)

Nimmt man zwei parallele die Elektricität leitende Flächen, sei es aus Metall oder einer leitenden Flüssigkeit, und trennt beide durch eine Schicht von Glas, Harz, Oel oder trockner Luft, kurz durch eine isolirende Schicht, so wird, wenn man der einen dieser Flächen Elektricität mittheilt, nach den Gesetzen der Vertheilung der Elektricität *), in der andern gegenüberstehenden leitenden Fläche Elektricität vertheilt werden, d. h. die entgegengesetzte von der, die man der ersten Fläche mittheilte, wird in der zweiten gebunden, der gleichnamige elektrische Zustand aber in derselben freigemacht, so daß, wenn man diese zweite Platte mit der Erde in leitende Verbindung bringt, die freigewordene gleichnamige in die Erde entweichen kann, während gebundene ungleichnamige Elektricität in der Fläche festgehalten wird.

Wählt man als isolirende Schicht Glas und giebt ihr die Form einer Tafel oder Platte, so nennt man diesen Apparat die Franklin'sche Tafel, wählt man aber dazu eine gläserne Flasche oder ein anderes gläsernes Gefäß, dessen äußere und innere Fläche durch einen Metall- oder Wasserüberzug leitend gemacht worden, so nennt man die Vorrichtung eine elektrische oder nach ihrem Erfinder Kleist'sche Flasche. Glas ist ohne Zweifel der beste, bei Verfertigung der elektrischen Flasche anzuwendende Nichtleiter, und eine große Auswahl zwischen den verschiedenen Glassorten ist eigentlich nicht nöthig, da sich zwar Verschiedenheiten in Bezug hierauf vorfinden, man aber den eigentlichen Grund derselben nicht recht angeben kann. Nur muß man darauf sehen, daß das Glas keine Sprünge oder sogenannte Steinlöcher hat, da dadurch eine Ladung der Flasche unmöglich wird. In Bezug auf die Stärke des Glases leuchtet es natürlich ein, daß je dünner das Glas ist, die Vertheilung und also auch die Ladung desto stärker ausfallen wird. Aber es giebt auch hier eine Grenze, denn ist das Glas zu dünn, so werden sich die beiden auf den leitenden Flächen angehäuften Elektricitäten, in ihrem Bestreben sich auszugleichen, einen Weg durch das Glas bahnen und dasselbe durchbohren, ein Umstand, der, wenn er eingetreten ist, die Flasche unbrauchbar für weitere Ladungen macht.

Glimmer hat darin vor dem Glase den Vorzug, daß er auch in den dünnsten Blättchen, selbst bei der stärksten Ladung dem Durchbruche der Elektricität widersteht. Auch gewährt er eben wegen der Dünnheit, in der man ihn anwenden kann, und der davon abhängigen starken Vertheilung der Elektricität den Vortheil, in einem sehr kleinen Raume eine Batterie von großer Wirksamkeit aufstellen zu können, wie denn Nicholson **) eine solche Batterie von 12 Glimmerblättchen ausgeführt hat, die zusammen nur eine Dicke von 3 Linien hatten, bei denen die Belegung des einzelnen Glimmerblättchens nur 2 Quadratzoll betrug, und welche dennoch das Aequivalent von 7 Quadratfuß Belegung von Fensterglas waren;

---

*) S. d. Art. Elektricität.

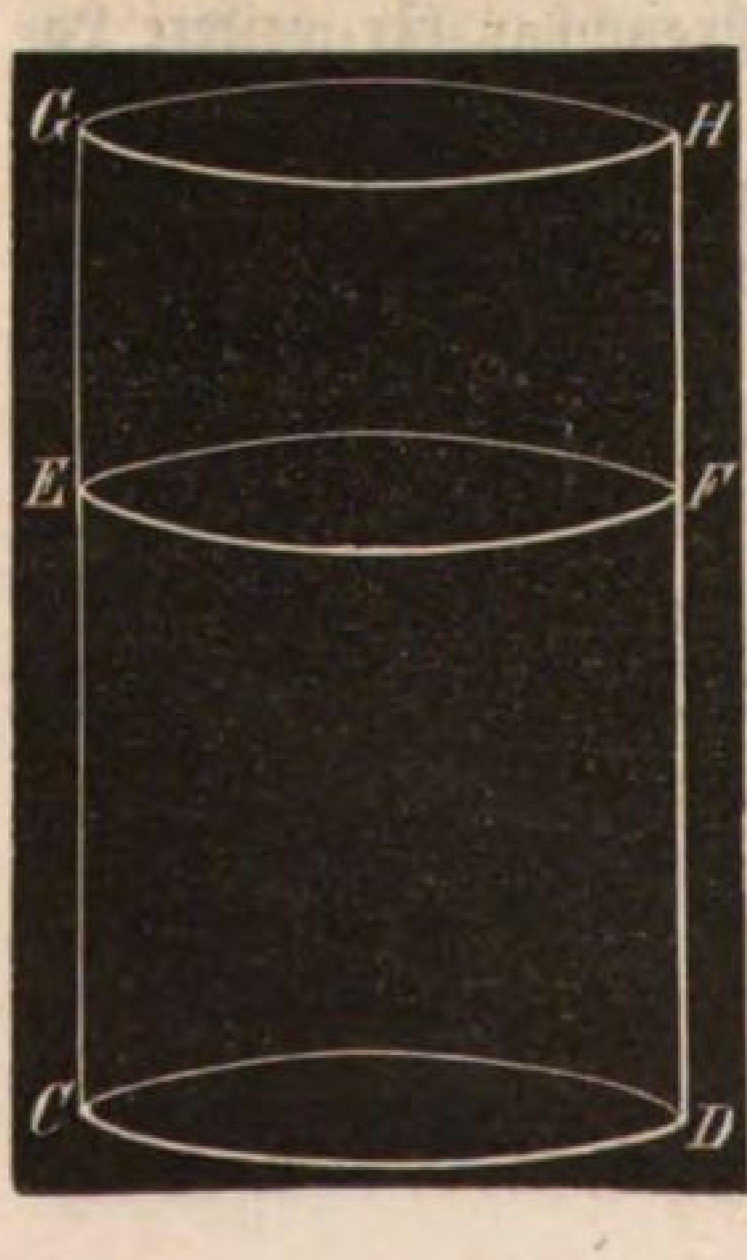
**) Gilb. Ann. Bd. XXIII. S. 272. Gehler, Wörterb. Bd. IV. S. 356.

indeß ist der Glimmer in unversehrten Platten nicht so leicht zu erhalten und zum gewöhnlichen Gebrauche zu kostbar.

Zur Belegung der Flasche mit leitenden Flächen kann man sich aller leicht anzubringenden leitenden Stoffe bedienen. Kleist goß Wasser in die Flasche und umspannte sie äußerlich mit der Hand, so hatte er die doppelte Belegung, die innere: das Wasser, die äußere: die Hand. Am vortheilhaftesten haben sich Belege von Zinnfolie erwiesen, statt dessen man aber auch Gold- oder Silberplättchen, Gold- oder Silberpapier, Messing- oder Eisenfeilspäne nehmen kann. Bis zu einer gewissen Entfernung vom oberen Rande wird die ganze Flasche äußerlich mit Zinnfolie überzogen. Man bedient sich zur Befestigung des Stanniols (Zinnfolie) Gummiwassers oder Kleisters, welcher dünn aufgestrichen werden muß, und keine Knötchen haben darf. Der Stanniol muß überall möglichst glatt anliegen. Inwendig wird die Flasche ebenfalls bis zu einer gewissen Entfernung vom oberen Rande, mit Stanniol oder Silberpapier ꝛc. überzogen. Dieses ist aber nur bei weit geöffneten Gefäßen möglich; bei Flaschen mit engem Halse läßt sich eine derartige Belegung nicht wohl herstellen. Man füllt solche Flaschen daher bis zu der gehörigen Höhe mit Schrot oder mit Messing, oder Eisenfeilspähnen, oder mit einer gesättigten Auflösung von Kochsalz. Große Flaschen würden auf diese Weise sehr schwer werden, und man kann daher die innere Belegung auch so herstellen, daß man (am besten noch, ehe die äußere Belegung angebracht wird) etwas Gummiwasser in die Flasche gießt, darauf eine kleine Quantität Messingfeilspähne einschüttet, und in der Flasche umschüttelt, bis sie vermittelst des Gummiwassers die ganze innere Fläche der Flasche so weit bedecken, als man wünscht, daß die innere Belegung reichen möge.

Die Belegungen beider Seiten dürfen einander am Rande nicht nahe kommen, sondern müssen durch einen unbelegten Raum des Glases von hinlänglicher Weite von einander abstehen, weil sich sonst die entgegengesetzten Elektricitäten schon im ersten Anfange der Ladung über den Rand hinweg mit einander vereinigen würden, und die Ladung nie zu einem merklichen Grade getrieben werden könnte.

In der beistehenden Figur reiche das Beleg der Flasche von C D bis zur Höhe E F. Die Ausdehnung des unbelegten Theils, welcher bei der Flasche den Raum zwischen E F und G H, sowohl außen als innen einnimmt, muß sich überhaupt nach der Glasesdicke der Flasche, der Größe der Batterie zu welcher solche Flaschen genommen werden und der Stärke der Elektrisirmaschine richten. Ist die Maschine von der Beschaffenheit, daß man, wenn sie eine Batterie von 10 bis 12 Quadratfuß Belegung vollständig laden soll, nur Flaschen von der Dicke der gewöhnlichen Zuckergläser anwenden kann, so ist es genug, wenn man den unbelegten Rand nur zwei Zoll hoch macht; denn dergleichen Gläser sind immer schon stark genug geladen, wenn es so weit gekommen ist, daß eine Selbstentladung erfolgen kann, und dieses wird dem Experimentator minder unangenehm sein, als wenn bei größerer Ausdehnung des belegten Randes eine Flasche zersprengt würde. Hat hingegen die Maschine eine größere Stärke, so daß man 20 bis 30 Quadrat-



schuh Belegung, wo die Gläser zu gleicher Zeit dicker als gewöhnlich sind, damit zu laden im Stande ist, so darf man den unbelegten Theil des Glases nicht unter drei Zolle sein lassen; besitzt endlich die Maschine so viel Wirksamkeit, daß sie 50 und mehrere Flaschen, deren Glasesdicke 2 Linien beträgt, vollständig laden kann, so muß der unbelegt Rand nicht unter 4 Zoll hoch sein, weil sonst eine Selbstentladung erfolgt, ehe die Batterie das Maximum ihrer Ladung erreicht hat.

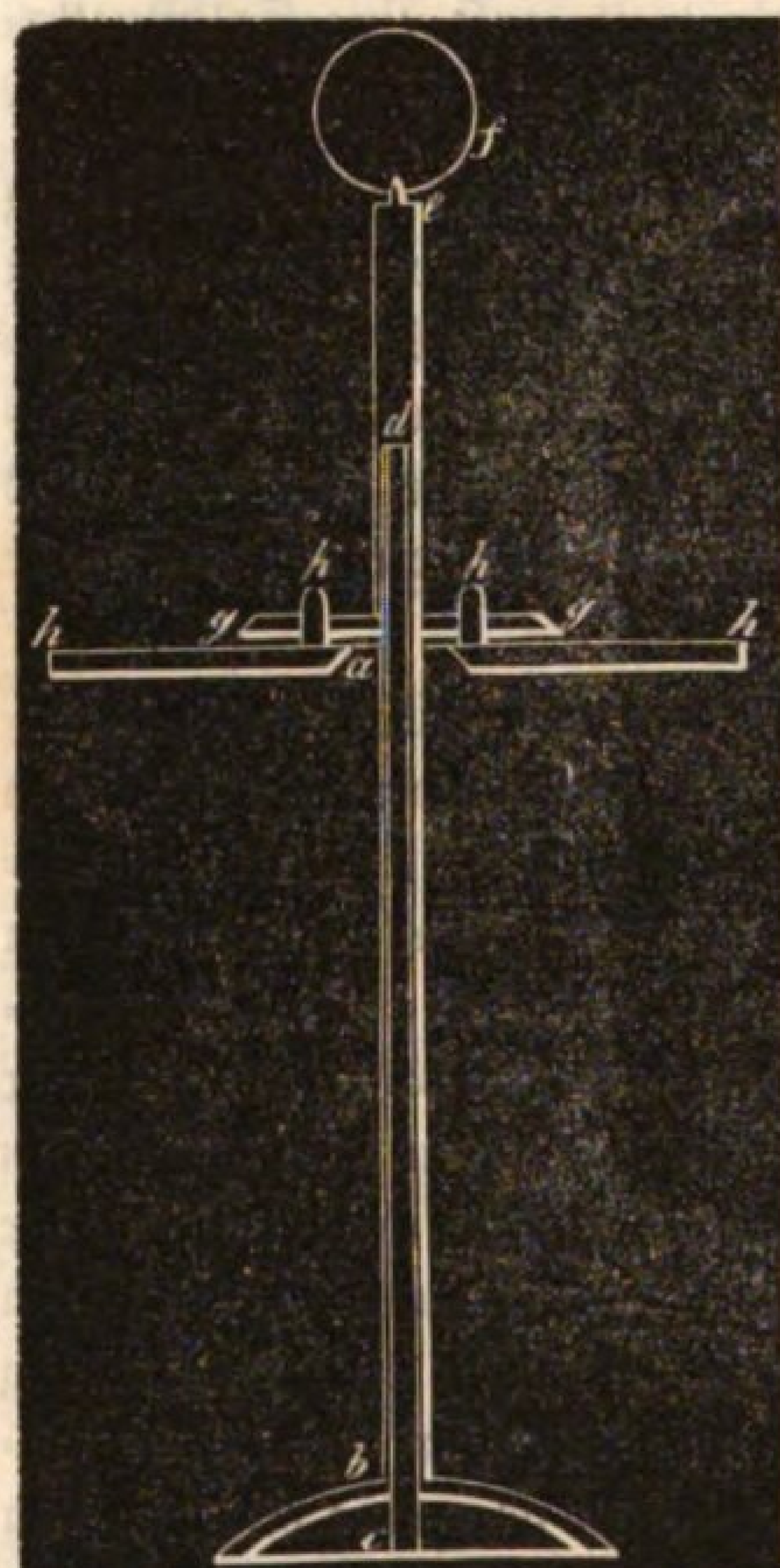
Es ist sehr rathsam, den unbelegten Raum EGHF durch einen Ueberzug von Siegellack gegen die Feuchtigkeit zu schützen. Auch giebt dieser Ueberzung den Flächen, so wie der ganzen elektrischen Geräthschaft ein sehr nettes, reinliches Ansehen. Das Siegellack wird hierzu im Mörser zerstoßen, höchst rectificirter Weingeist aufgegossen, und der daraus entstandene Brei mit dem Pinsel auf das Glas getragen, das man vorher erwärmt hat. Auch ist Bernsteinfirniß zu diesem Zwecke sehr tauglich.

Ein wichtiger Theil der Zubereitung einer Flasche ist die vollkommene Zuleitung der Elektricität zur innern Belegung und eine solche Vorrichtung des Zuleiters zu derselben, daß jene so wenig als möglich zum Ausströmen der Elektricität Veranlassung gebe. Bei Gläsern die mit einem engen Halse versehen sind, verschließt man gewöhnlich die Oeffnung mit einem genau einpassenden in zerlassenes Wachs getauchten Korkstöpsel. In diesen Stöpsel wird ein Loch gebohrt und ein starker messingener Draht hineingesteckt, welcher unten mit einigen dünnen federnden Messingdrähten versehen ist, die sich im Innern vermöge ihrer Federkraft ausbreiten, und an die innere Belegung etwas anstemmen. Ist die Flasche inwendig mit Metallspänen oder Schrot gefüllt, so ist es hinreichend den einfachen Draht bis in diese Füllung hinab gehen zu lassen. Oben muß der Draht 6 bis 8 Zoll über die Flasche hervorragen und bekommt an seinem oberen Ende einen Knopf oder eine Kugel, von etwa $^2/_3$ Zoll Durchmesser bei kleineren Flaschen. Es ist sehr bequem, wenn der Draht oben spitz gemacht, etwas unter der Spitze aber mit Schraubengängen versehen ist, so daß man die hohle Kugel nach Gefallen auf- und abschrauben kann. Bisweilen wird auch der Draht am oberen Ende krumm gebogen, um die Flasche daran aufzuhängen. Bei Zuckergläsern mit weiter Mündung, wie man sie gewöhnlich zu Batterieen gebraucht, ist obige Einrichtung nicht anwendbar. Deckel von mit Siegellack überzogenem Holze oder Korke, wodurch man den Zuleitungsdraht steckte, hat man mit Recht verworfen, weil sie zu viel Gelegenheit zur Zerstreuung der Elektricität geben. Einen mit Stanniol überzogenen Kork oder hölzernen Fuß auf dem Boden der Flasche aufzukitten ist theils beim Aufkitten mit Gefahr für die Flasche verbunden, theils mit der Unbequemlichkeit, daß der Fuß leicht wieder losgeht. Die von van Marum *) angegebene Einrichtung (siehe umstehende Figur I.) verdient daher in jeder Hinsicht den Vorzug. Man läßt sich cylindrische Stangen von Holz verfertigen, wie ab, von der Dicke von $^2/_3$ Zoll und von einer Länge, die durch die Höhe der Flasche bestimmt wird. Jede Stange ist auf eine runde Scheibe c von 4,5 Zoll Durchmesser befestigt, und auf ihr oberes Ende wird ein Messingrohr de gepaßt, auf welches die Kugel fe, die bei sehr großen Flaschen, besonders wenn sie zur Batterie gebraucht werden, anderthalb Zoll im Durchmesser haben kann, aufgeschraubt oder auch nur aufgesteckt

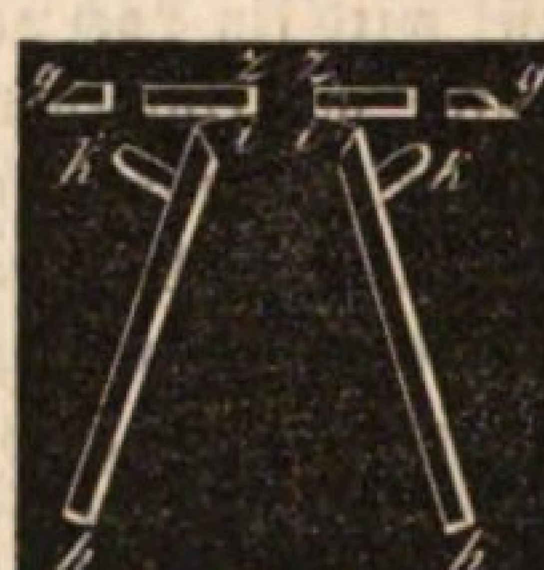
*) Seconde Continuation. p. 108. Gehler's Wörterbuch. 1827. Bd. IV. S. 362.

ist. Vier Messingdrähte von 0,5 Linien Dicke, die den unteren Theil des Messingrohrs berühren, und längs der hölzernen Stange hinaufgehen, laufen über die Oberfläche der Scheibe c hinweg, so daß sie mit dem belegten Boden des Glases in Berührung kommen. Jede hölzerne Stange ist oberwärts mit einer ähnlichen hölzernen runden Scheibe g g wie unterwärts von 4,5 Zoll Durchmesser) versehen, bis auf welche das Messingrohr d hinabreicht. Diese Scheibe hat 3 einen halben Zoll dicke (s. beistehende Fig. II.) längliche Holzstücke, h, h, h, die an ihrer unteren Fläche durch Streifen von Leder i i befestigt sind, welche letztere statt Charnieren dienen. Auf jeder dieser Latte ist ein Ring oder eine Oehse k, k von Messingdraht befestigt, die bei der horizontalen Lage der Latten durch den Einschnitt in der hölzernen Scheibe g hindurchgeht. Indem in dieser Lage die Oehse ungefähr $^1/_4$ Zoll über die obere Fläche der Scheibe hervorragt, kann man jede der Latten in ihrer horizontalen Lage befestigen, indem man ein kegelförmiges zugeschnittenes Holzstäbchen durch die Oehse hindurchsteckt. Die Holzstäbe oder Latten haben gerade die Länge, daß wenn die in ihrer gehörigen Länge horizontal im Glase ausgestreckt sind, sie die innere Belegung des Glases berühren. Um die Stange mit dem Zuleitungsrohre in die Flasche einzubringen läßt man die Holzstäbe h, h an ihren ledernen Charnieren i, i herabhängen, nachdem man vorher kleine Bindfaden an die Ringe k, k befestigt hat, die durch die Einschnitte der Scheibe g hindurchgehen. Hat man so die Stange mit den Scheiben hineingebracht, so zieht man die Bindfäden in die Höhe, bis die Holzlatten horizontal ausgestreckt sind, und wenn man sie dann vermittelst der durch die Ringe durchgesteckten Keilchen befestigt hat, so ist die Stange selbst in ihrer perpendiculären Lage fixirt. Damit die Scheibe g und die Holzstücke h, h, gleichfalls mit zur Ladung des oberen Theils der Flaschen dienen können, sind sie, so wie auch die untere Scheibe mit Stanniol überzogen. Man übersieht leicht, daß durch diese Einrichtung eine sehr innige ausgebreitete Verbindung des Zuleiters mit der inneren Belegung vermittelt ist, und daß diese Einrichtung für jede Art von Zuckergläsern, sowohl für die vollkommen cylindrischen, als auch für die mit oben verengter Mündung paßlich gemacht werden kann. Wenn auch der innere Umfang kein vollkommener Kreis ist, so wird man bei der Drehung der Stange doch immer eine Lage finden, in welcher wenigstens zwei der Holzstäbe h, h sich an die innere Wand anstemmen und dadurch in genaue Berührung mit der innern Belegung kommen, worauf so sehr viel bei der Ladung und Entladung ankommt. Die Holzstangen müssen eine hinlängliche Länge haben, damit das

I.



II.



Messingrohr mit der Kugel, wenigstens noch 6 Zoll über die Mündung der Flasche hervorstehe. Pfaff versichert, daß auch er aus eigner Erfahrung diese Einrichtung sehr praktisch gefunden habe.

Man sieht übrigens leicht ein, daß sich die beschriebene Einrichtung der Ladungsflaschen in Nebenumständen noch mannichfaltig abändern läßt. Priestley *) hat Flaschen von allerlei Gestalt abbilden lassen. Zu etwas größeren Versuchen haben aber stets die großen Zuckergläser den Vorzug, und mehrere kleinere Flaschen, die gleiche Größe der Belegung (alle zusammen genommen) wie eine einzelne haben, lassen sich auch bei gleicher Glasdicke nie so stark laden, wie letztere, weil die Gelegenheiten zur Zerstreuung der Elektricität bei ihnen nothwendig vielfältiger vorkommen müssen.

Wenn die Ladungsflaschen einen Sprung bekommen, so sind sie zum ferneren Gebrauche untauglich. Jedoch giebt Cavallo **) folgende Methode an sie wieder brauchbar zu machen. Man nehme vom zerbrochenen Theile die äußere Belegung ab, erwärme die Flasche an der Lichtflamme (wodurch aber der Riß sich sehr leicht weiter verbreiten kann), und tröpfle brennendes Siegellack darauf, so daß der Sprung damit bedeckt wird und das Siegellack dicker aufliegt als das Glas selbst dick ist. Endlich bedecke man das Siegellack und einen Theil der Glasfläche, mit einer Mischung von 4 Theilen Wachs, einem Theile Pech, einem Theile Terpentin, und sehr wenig Baumöl, die man auf ein Stück Wachstaffet streicht und wie ein Pflaster auflegt, worauf man die Flasche von Neuem mit Stanniol belegt.

Nach J. P. Folkes ***) Erfahrung soll es sogar schon zureichen, daß man auf die Stelle der Flasche, wo sie gesprungen ist, nachdem man zuvor die äußere Belegung abgenommen hat, gewöhnliches Siegellack $^1/_8$ Zoll dick warm aufstreicht.

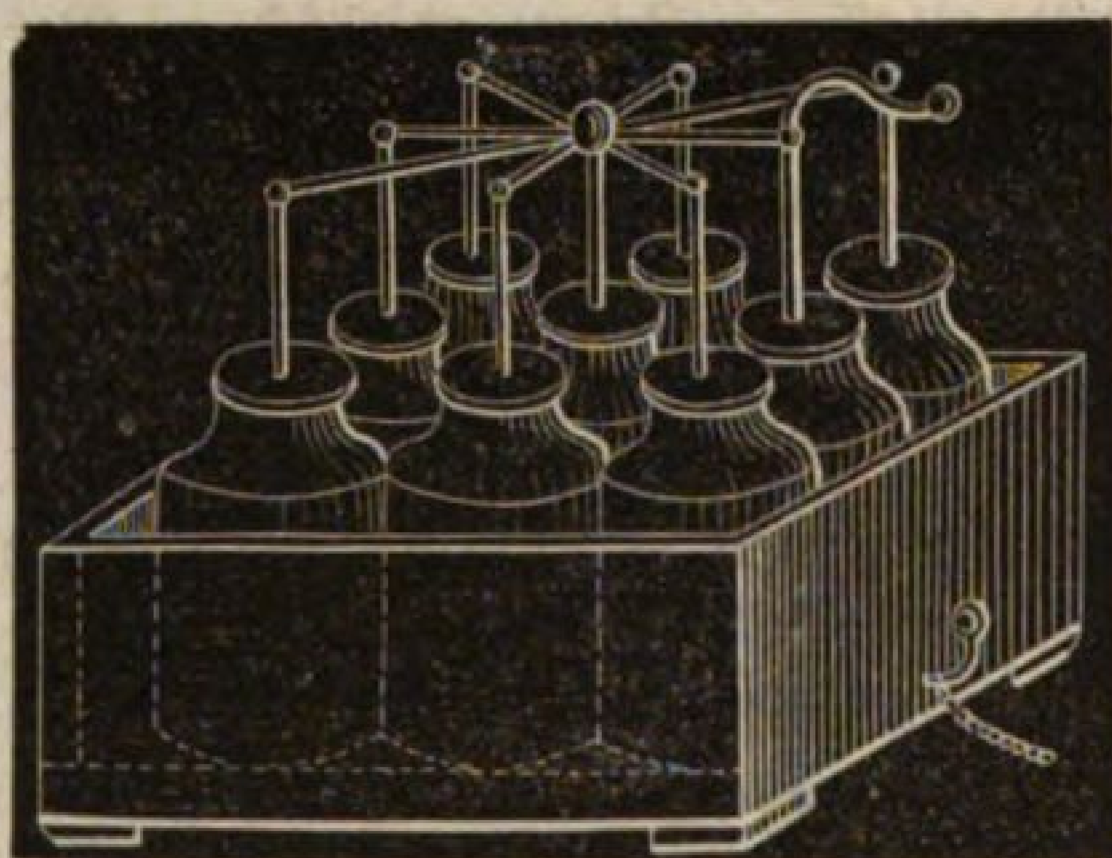
Auch Brook ****) hat einen Kitt angegeben, der auf die zersprungene Stelle aufgetragen so wirksam sein soll, daß bei derselben Flasche ein neuer Durchbruch nicht leicht an der verkitteten, sondern an einer neuen Glasstelle erfolgen wird. Man nimmt drei Unzen von spanischem Weiß und erhitzt sie um alle Feuchtigkeit zu verjagen in einer messingenen Kelle sehr stark. Wieder abgekühlt wird dieses durch ein sehr feines Haarsieb durchgesiebt, hierauf werden drei Unzen Pech, $^3/_4$ Unzen Kolophonium und $^1/_2$ Unze Wachs hinzugethan. Das Ganze wird alsdann über einem schwachen Feuer unter häufigem Umrühren fast eine Stunde lang im Flusse erhalten, bis es ziemlich heiß geworden ist. Dann nimmt man es vom Feuer und setzt das Umrühren fort, bis die Masse kalt geworden und zum Gebrauch fertig ist. Nach abgenommener Belegung trägt man diesen Kitt auf die zerbrochene Stelle auf und belegt diese aufs Neue mit Stanniol.

Eine elektrische Flasche wird nun so mit Elektricität geladen, daß man dem einen Belege eine bestimmte Elektricität mittheilt, am einfachsten, indem man denselben an den Conductor einer Elektrisirmaschine hält. Auch kann man sich des Wilke'schen Elektrophors bedienen. Dadurch wird auf dem anderen Belege die entgegen-

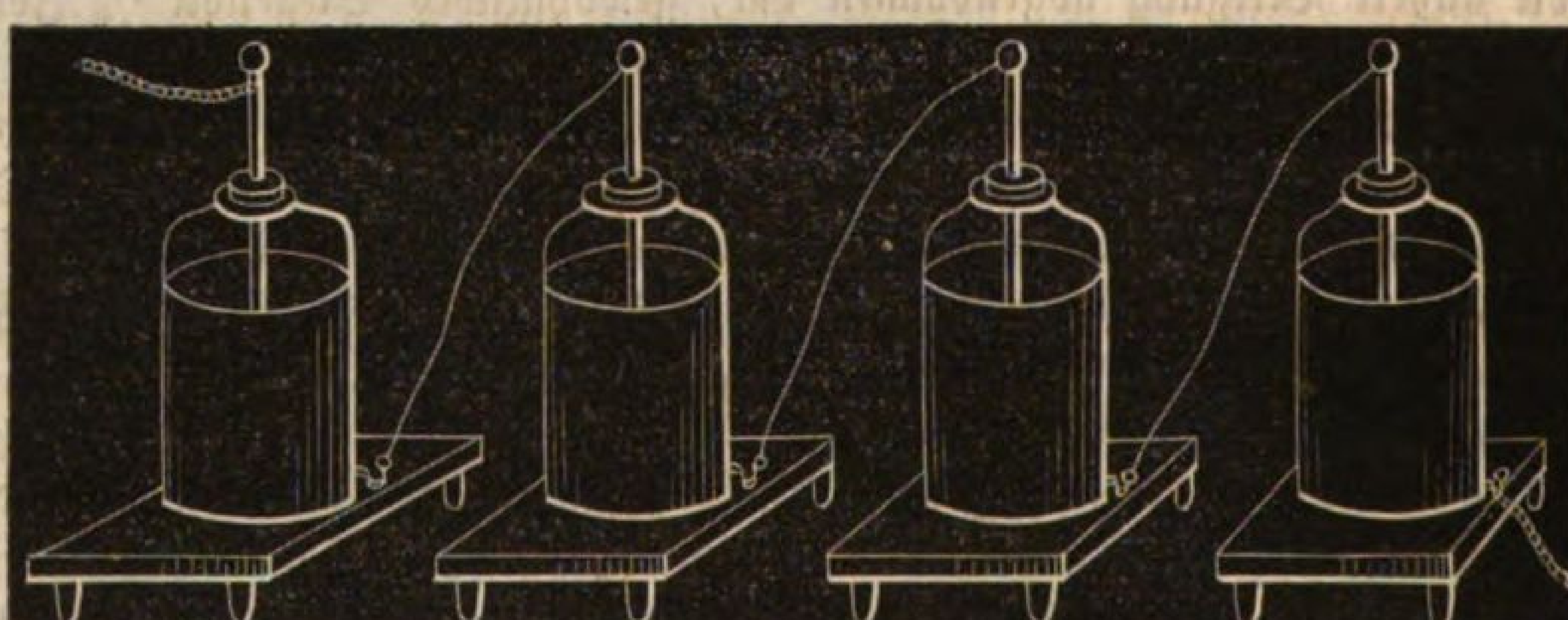
*) Geschichte der Elektricität. Taf. II. Fig. c — k.
**) Phil. Trans. Vol. 68. P. II. No. 44. auch vollständ. Unterricht. Bd. I. S. 170.
***) Cuthbertson. I. u. II. Th. S. 302.
****) A. a. O. S. 70.

gesetzte Elektricität gebunden. Es würde die Flasche aber auf diese Weise nur eine sehr geringe Ladung annehmen, wenn man die freigewordene gleichnamige Elektricität auf dem zweiten Belege nicht zur Erde ableiten wollte: hierdurch allein wird es möglich, daß die Flasche ein Maximum der Ladung annimmt. Ist die Elektricitätsmenge, die in einer Flasche aufgesammelt werden kann, nicht groß genug zu einem bestimmten Zwecke, so vereinigt man mehrere Flaschen zu einer sogenannten **elektrischen Batterie**. Die Ladung einer Batterie kann auf verschiedene Weise vor sich gehen. Entweder verbindet man wie in beistehender Fig. I. alle äußeren Belege unter einander, ebenso alle inneren Belege, bringt die einen mit einer Elektricitätsquelle in Berührung, und setzt die anderen mit der Erde in leidende Gemeinschaft (diese Vorrichtung nennt man gewöhnlich **elektrische Batterie**); oder man ladet par cascade, d. h. man verbindet wie in Fig. II., z. B. das innere Beleg der ersten Flasche mit der Elektricitätsquelle, und leitet die freigewordene Elektricität des äußeren Belegs in das innere Beleg der zweiten Flasche. Auf dieselbe Weise wird die dritte Flasche von der zweiten und die vierte

I.



II.



von der dritten geladen, während das äußere Beleg der letzten zu ladenden Flasche mit der Erde verbunden ist. Es versteht sich von selbst, daß alle Flaschen außer der letzten isolirt sein müssen. Auf diese sogenannte Ladung par cascade kommen wir weiter unten noch einmal zurück.

So gering auch die Glasdicke der Flasche, also die Entfernung der beiden Belegungen sein mag, so ist doch die gegenseitige Bindung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten nicht vollständig. Damit auf der einen Seite die + E vollständig gebunden sei, muß auf der anderen Seite ein Ueberschuß von Elektricität, also freie — E vorhanden sein, oder umgekehrt. Man berühre die eine Belegung etwa die innere mit dem Finger, während die äußere nicht mehr mit dem Conductur verbunden ist, so kann man nur etwas Elektricität, es sei — E, ableiten,

und es bleibt auf der inneren Seite immer noch eine starke Ladung — E zurück, welche gebunden ist. Damit aber diese — E vollständig gebunden sei, ist durchaus erforderlich, daß auf der anderen Seite ein Ueberschuß von + E sich befinde. Um sich hiervon auf eine einfache Weise zu überzeugen, berühre man die äußere Belegung, nachdem man alle nicht gebundene — E der inneren Belegung abgeleitet hat; es wird dann bei Annäherung des Fingers ein schwacher Funken überspringen, ein Beweis, daß hier freie Elektricität vorhanden war. Hat man nun von der äußeren Seite alle freie + E weggenommen, so ist nun wieder auf der inneren Seite freie — E, und man kann jetzt der hinteren Belegung einen schwachen Funken entlocken ꝛc. Auf diese Weise läßt sich durch abwechselndes Berühren der beiden Belege die Flasche gänzlich entladen.

Man kann die Frage aufwerfen, welches die Grenze der Ladung sei, die man einer Franklin'schen Tafel oder elektrischen Flasche ertheilen kann. Diese Grenze hängt von der Elektricitätsquelle ab, mit welcher man die eine Belegung in Berührung bringt, und bestimmt sich nach der Theorie des Condensators (s. d. Art.). Wenn die eine Belegung der Flasche mit einer fortdauernden Quelle der Elektricität, wie dem Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung steht, so geht, falls die andere Belegung isolirt ist, eine bestimmte Menge Elektricität auf jene Belegung über, die frei ist, und deren Spannung mit derjenigen der Elektricität auf dem Conductor im Gleichgewicht ist. Diese Menge wird durch fortdauerndes Drehen der Maschine nicht größer, sondern es wird nur ersetzt, was verloren geht. Ist dagegen die andere Belegung mit der Erde leitend verbunden, so wirkt die vom Conductor auf die erste Belegung übergehende Elektricität durch die Glasschicht hindurch auf die zweite Belegung, so daß die entgegengesetzte Elektricität gebunden wird, während die gleichnamige in den Boden entweicht. Bezeichnet nun E die Menge der Elektricität, welche überhaupt vom Conductor auf die eine Belegung übergegangen ist, so wird dieselbe auf der anderen Seite eine gewisse Menge entgegengesetzter Elektricität binden, die jedoch, wegen des Abstandes, ihr selbst (der bindenden) an Größe nicht gleich, sondern ein bestimmter aliquoter Theil derselben sein wird, der gewiß um so größer ist, je näher die beiden Belegungen einander stehen. Somit hätten wir, wenn m einen Bruch, kleiner als die Einheit, bezeichnet, $e = mE$. Diese Elektricitätsmenge, welche also vorhanden ist auf der mit der Erde in Verbindung stehenden Belegung, bindet ihrerseits wieder einen Theil der auf der anderen Seite befindlichen Elektricitätsmenge E, so zwar, daß derselbe $= m e = m^2 E$ ist. Hieraus folgt denn, daß auf der von dem Conductor berührten Belegung noch freie Elektricität vorhanden ist im Betrage von $E - m^2E = E(1 - m^2)$, wonach sich das Verhältniß der ganzen Elektricitätsmenge auf dieser Belegung zum freien Antheil derselben herausstellt wie $E : E(1 - m^2) = \frac{1}{1 - m^2}$ *). Setzen wir beispielsweise $m = \frac{99}{100}$, so hat man $\left(\frac{99}{100}\right)^2 = \frac{49}{50}$ für den gebundenen, und $1 - \frac{49}{50} = \frac{1}{50}$ für den freien Antheil der ganzen Elektricitätsmenge E. Sobald dieses Verhältniß zwischen den

*) Bezüglich dieser Formel s. Rieß: Poggend. Ann. Bd. LXXIII. S. 367, auch Artikel Tafel, elektrische.

Mengen der gebundenen und freien Elektricität erreicht ist, findet keine weitere Bindung auf der mit dem Conductor in Berührung stehenden Belegung statt; die Grenze der Ladung ist dann erreicht.

Die eben angegebene Grenze der Ladung läßt sich nicht immer erreichen, weil, wenn man hinlänglich kräftige Maschinen anwendet, die Widerstände, welche die völlige Ausgleichung der Elektricitäten der beiden Belegungen hindern, schon überwunden werden, ehe noch eine Grenze erreicht ist; es erfolgt dann von selbst schon eine Entladung, indem entweder das Glas durchbohrt wird oder ein Funken durch die Luft über den unbelegten Glasrand hinüber schlägt.

Dadurch, daß man abwechselnd die eine und dann die andere Belegung mit dem Finger berührt, und so immer die freie Elektricität auf der einen Seite wegnimmt, wird, wie schon oben erwähnt, allmälig die Flasche ganz entladen. Wenn man aber die beiden Belegungen zugleich berührt, oder sie auf irgend eine andere Weise in leitende Verbindung setzt, so findet die Entladung auf einmal statt, indem die angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Belegungen auf diesem Wege einander ausgleichen. Man wendet dazu gewöhnlich einen sogenannten Entlader oder Auslader an.

Derselbe besteht aus zwei gebogenen Messingdrähten, welche durch ein Charnier an einem isolirenden Handgriff verbunden sind. Jeder der Arme des Entladers endet mit einer kleinen Messingkugel. (S. d. Art. Auslader).

Man berührt die eine Belegung mit der einen Kugel und nähert die andere Kugel der gegenüberstehenden Belegung. Schon in einiger Entfernung, der sogenannten ersten oder Hauptschlagweite, springt ein Funken mit lebhaftem Licht und lautem Knacken über. Nehmen wir an, die eine Kugel sei mit derjenigen Belegung in Verbindung gebracht, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so wird sich diese freie Elektricität über den ganzen Auslader verbreiten. Dadurch aber wird ein Theil der Elektricität auf der anderen Belegung frei, und diese wirkt durch die Luftschicht hindurch, um die entgegengesetzte in der genäherten Kugel auszugleichen. Je näher nun diese Kugel der Belegung gebracht wird, ein desto größerer Antheil der Elektricität in der berührten Belegung wird nach gedachter Kugel übergehen, bis endlich die Spannung hinreicht, um die Luftschicht zu durchbrechen, worauf dann natürlich eine Erladung erfolgt. Hätte man die Kugel mit derjenigen Belegung in Berührung gebracht, auf welcher sich keine freie Elektricität befindet, so hätte die freie Elektricität der anderen Seite vertheilend auf die genäherte andere Kugel gewirkt, in Folge dessen wäre ein Theil der bis dahin gebunden gewesenen E der berührten Belegung frei geworden, um nach der angenäherten Belegung über zu gehen, so daß dann bei hinlänglicher Annäherung derselben an die nicht berührte Belegung ebenfalls die Entladung erfolgen muß.

Wenn man eine Leidner Flasche entladen hat, und sie dann nur ganz kurze Zeit stehen läßt, so giebt sie einen zweiten, freilich weit schwächeren Entladungsschlag, der wohl eine Folge des Ueberschusses von Elektricität ist, welcher sich auf der inneren Belegung befindet. Die Elektricität bleibt nicht blos auf den metallischen Belegungen der Leidner Flasche, sondern sie geht zum Theil auf die Oberfläche des Glases über. Daß es sich wirklich so verhält, läßt sich an einer Flasche zeigen, deren Belegungen man wegnehmen

kann. Eine solche Flasche ist in beistehender Figur abgebildet. Man hebe das Glasgefäß aus der äußeren Belegung und nehme auch dieser alle ihre



Elektricität. Setzt man nun das Glas wieder in die äußere Belegung, und die innere in das Glas, so findet man, daß diese noch geladen ist, und diese Ladung hat offenbar auf den gegenüberstehenden Oberflächen des Glases gehaftet. Es lassen sich mit der Leidner Flasche ungemein viele belehrende und unterhaltende Versuche anstellen. Verzeichnisse und Beschreibungen derselben findet man bei Cavallo *), Adams **), Donndorf ***), Cuthbertson ****), Maingosus Gälle *****), Singer †) und von Andern mehr.

Eine für quantitative Untersuchungen vortreffliche Vorrichtung ist die sogenannte Lane'sche Maaßflasche, die sich im Art. Auslader unter dem Namen Auslade-Elektrometer beschrieben findet.

Von Interesse und Wichtigkeit sind die Untersuchungen von Peter Rieß über die Schlagweite der elektrischen Batterie ††). Es ist schon auseinandergesetzt worden, daß die Entladung einer elektrischen Batterie gewöhnlich in der Weise geschieht, daß man, während das eine Ende eines leitenden Bogens an der äußeren Belegung der Batterie anliegt, das andere Ende mit der inneren Belegung, oder einem metallischen Fortsatze derselben in Berührung zu bringen sucht. Ehe aber die Berührung eintritt entsteht ein Funke zwischen den genäherten Metallflächen und der größte Theil der Ladung der Batterie ist verschwunden; die Entfernung der Flächen von einander im Augenblicke, wo der Funke zwischen ihnen sichtbar wird, heißt die Schlagweite der Batterie. — Da die Batterie durch den in der Schlagweite befindlichen Leiter nicht gänzlich entladen wird, so muß bei größerer Annäherung dieses Leiters an die innere Belegung wiederum ein Punkt eintreten, an welchem eine Entladung stattfindet, und es wird sich daher eine zweite, dritte Entfernung angeben lassen, in welche gelangt, das Ende des Schließungsbogens von der rückständig geladenen Batterie einen Funken empfängt. Rieß läßt in dieser Arbeit diese nachfolgenden Entladungen zuvörderst bei Seite, und will jetzt überhaupt unter Schlagweite nur die erste oder Hauptschlagweite verstehen.

Rieß hat schon früher †††), sowohl aus schon vorliegenden als aus eigenen Versuchen gezeigt, daß die Schlagweite der Batterie proportional der Dichtigkeit der in derselben angehäuften Elektricitätsmenge, zugleich aber abhängig von der Form der Flächen ist, zwischen welchen der Entladungsfunke überspringt.

---

*) Vollständ. Abhandl. d. Lehre v. d. Elektr. Leipzig 1797. Bd. I. Th. III. 7. und 12. Capitel.

**) Versuch über die Elektr. aus d. Engl. Leipzig 1785. S. 8. 7. Capitel.

***) Lehre von der Elektr. Bd. I. S. 344 ff.; Bd. II. Cap. 19. S. 825.

****) J. Cuthbertson, vollständ. Abhandl. der theor. u. prakt. Lehre von d. Elektricität a. d. E. von Baumann. Leipzig 1797. Bd. II. gr. 8.

*****) Beiträge zur Erweit. und Vervollkommnung der Elektricitätslehre. Salzburg 1813 2. Vol. 8.

†) G. J. Singer. Elemente der Elektricität und Elektrochemie, übersetzt von C. H. Müller. Berlin 1819, Cap. 5. S. 62 f.

††) Poggend. Ann. Bd. LIII. S. 1.

†††) Poggend. Ann. Bd. XL. S. 333.

Bezeichnet man mit d die Schlagweite, mit q die Elektricitätsmenge, mit s die Größe der Fläche, auf der sie angehäuft ist, so hat man den Ausdruck

$$d = b \frac{q}{s}$$

in welchem b die Schlagweite für die zur Einheit gewählte Ladung angiebt. Diese Constante b ist veränderlich mit der Gestalt und gegenseitigen Stellung der beiden Metallflächen, zwischen welchen der Entladungsfunke auftritt, wodurch denn die Nothwendigkeit gegeben ist, diese Stellung niemals durch die Hand, sondern durch eine mechanische Vorrichtung zu bewirken, wenn man des Erfolgs eines Versuchs an der Batterie sicher sein will.

Diese wenigen Bemerkungen genügen zur Kenntniß der Schlagweite, so weit sie bei den Batteriewirkungen in Betracht kommt; ein anderes aber und nicht geringes Interesse bietet die Erscheinung an ihr selbst dar.

Schon sehr frühe wurde die Aufmerksamkeit des Beobachters auf die Erscheinungen gelenkt, welche die Entladung der Batterie begleiten und mit der Schlagweite in Verbindung zu stehen scheinen, auf den Entladungsfunken nämlich und den durch ihn hervorgebrachten Schall. Es konnte Keinem entgehen, daß der Glanz des Funkens und die Stärke des Schalls bei gleichbleibenden Endflächen, zwischen welchen der Funke überspringt, veränderlich ist, sowohl mit der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie als mit der Beschaffenheit des Schließungsbogens. Die Aenderung der Schlagweite nach der Dichtigkeit der angesammelten Elektricität wurde durch Lane und Volta aufgezeigt; über die Schlagweite aber bei veränderter Beschaffenheit des Schließungsbogens, wurden keine, oder nur ungenügende Messungen angestellt. Es liegen darüber nur die Versuche von Heller*) vor, der eine Leidner Flasche durch einen Bogen entlud, der entweder ganz metallisch oder durch einen mit Wasser benetzten Papierstreifen unterbrochen war. Bei dem ganz metallischen Bogen bezeichnet er den Entladungsfunken als weiß, lang und knallend, bei dem unterbrochenen als roth dumpfschallend und klein, und will die Länge des Funkens mit zunehmender Länge des Papierstreifens abnehmend gefunden haben. Diese nur beiläufig gegebene Behauptung ist seitdem häufig wiederholt worden, und wahrscheinlich ist sie es, die zu der Verallgemeinerung in der neuen Ausgabe des Gehler'schen physik. Wörterbuchs **) geführt hat. Es wird dort die Schlagweite, in der die Entladung der Batterie zu Stande kommt, durch die Formel $\frac{T}{L}$ ausgedrückt, wo T die freie Spannung der inneren Belegung, L den Leitungswiderstand in der ganzen Stecke der leitenden Verbindung von einer Belegung zur anderen bezeichnet. Die Versuche von Rieß zeigen, daß diese Annahme, wie selbst die speciellere Heller'sche Behauptung, nicht in der Natur begründet ist.

Rieß verband die innere Belegung einer elektrischen Batterie durch einen $1^1/_2$ Fuß langen, $^1/_4$ Linie dicken Kupferdraht mit einem verticalen auf einer dünnen Glasstange isolirten Messingzapfen, dem in derselben Höhe ein gleicher

---

*) Gilb. Ann. Bd. VI. S. 249.
**) Gilb. Ann. Bd. VIII. S. 529.

Zapfen gegenüberstand, dessen Fuß auf einem Metallschlitten befestigt war. Die beiden Zapfen wurden durch eine Mikrometerschraube einander genähert, und trugen zwei messingene Kugeln. Außer dieser Vorrichtung, die Rieß Funkenmikrometer nennt, wurde noch ein Henley'scher Auslader in den Entladungskreis gebracht, um zwischen den beiden Armen desselben verschiedene Drähte einschalten zu können. Die vom äußeren Belege freiwerdende Elektricität mußte durch eine Lane'sche Maaßflasche gehen und diente als Maaß der Ladung der Batterie. Die Einheit der Schlagweite d war eine halbe Linie.

Die folgende Tabelle giebt die Beobachtungen der zu bestimmten Schlagweiten gehörigen Elektricitätsmengen bei Anwendung der verschiedenen Schließungsbogen.

Elektricitätsmengen bei bestimmter Schlagweite.

		Einschaltung in den Schließungsbogen.		
		Kupferdraht 4 Linien lang $1/2$ Linien dick	Platindraht 102 Zoll lang 0,052 Lin. dick	Wasserröhre.
Flaschenzahl s	Schlagweite d	Elektricitätsmenge q	q	q
3	1	6,0	6,0	6,0
	2	10,2	10,5	10,5
	3	15,0	15,0	14,5
4	1	8,0	8,0	8,0
	2	14,5	14,0	14,0
	3	21,5	19,7	19,5
5	1	10,0	10,0	11,0
	2	18,0	19,0	19,0
	3	27,0	25,5	26,0
Schlagweite für die Einheit der Ladung b		0,55	0,55	0,55

Es folgt hieraus unmittelbar der Satz: daß die Schlagweite der elektrischen Batterie gänzlich unabhängig ist von der Beschaffenheit des Schließungsbogens.

Da von der mehr oder minder leitenden Beschaffenheit des Schließungsbogens, der Glanz des Entladungsfunkens und die Stärke des Schalles abhängt, so ist es leicht an der Batterie Funken von derselben Länge, aber den verschiedensten Merkmalen zu erhalten.

Ebenso weist Rieß auf eine sinnreiche Art nach, daß nicht nur die Schlagweite dieselbe bleibt, sondern daß auch die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung der Batterie in der Schlagweite verschwindet, merklich dieselbe ist, der Schließungsbogen mag aus besser oder schlechter leitenden Metalldrähten zusammengesetzt sein.

Daß die in der Schlagweite verschwindende Elektricitätsmenge den bei weiten größten Theil der Entladung der Batterie ausmacht, ergiebt sich ebenfalls aus den Versuchen. Den Werth dieses Bruches giebt Rieß = $^{11}/_{13}$ an, und er hat in vielen, bei sehr verschiedenen atmosphärischen Zuständen angestellten Versuchen dafür einen nur wenig abweichenden Werth gefunden. Die Versuche wurden in einem geheizten, sehr trocknen Locale angestellt.

Werden flüssige Leiter in den Schließungsbogen gebracht, so giebt $^{11}/_{13}$ nicht mehr den Werth der vernichteten Elektricität, sondern es ergiebt sich aus den Versuchen Rieß's, daß bei Einschaltung der Wasserröhre nur $^{5}/_{8}$ der ganzen Ladung in der Schlagweite vernichtet werden, $^{3}/_{8}$ aber in der Batterie zurückbleiben. Es ist daher der Rückstand in der Batterie, durch Einwirkung der im Schließungsbogen befindlichen Wassersäule mehr als doppelt so groß geworden; eine Einwirkung, die erst nach dem Ausbruche der Entladung thätig gewesen ist. Es folgt hieraus:

Bei der Entladung der Batterie in der Schlagweite wird die Elektricität derselben successiv vernichtet.

Diese successive Vernichtung des größten Theils der angesammelten Elektricitätsmenge bei derselben Entfernung der entladenden Kugeln ist durch die bekannte Erfahrung erklärlich, daß die Schlagweite einer bestimmten elektrischen Entladung vergrößert wird durch Verdünnung der Luft, die der Funke durchbricht. Ist nämlich der kleinste Theil der zu entladenden Elektricitätsmenge verschwunden, so würde, wenn die Dichtigkeit der Luft zwischen den Kugeln dieselbe geblieben wäre, eine kleinere Entfernung der Kugeln nöthig sein, um die folgende Entladung zu bewirken. Wird hingegen, wie man zugeben muß, die Luft durch den ersten Funken verdünnt, so kann der zweite Funke übergehen, und da dieser wiederum eine Verdünnung der Luft bewirkt, der dritte, und so fort, bis die Ladung in der Batterie so schwach geworden ist, daß der Uebergang der Elektricität in der constanten Entfernung der Kugeln nicht mehr stattfinden kann.

Die Schlagweite ist übrigens nach Beschaffenheit des luftförmigen Mediums durch welches die Entfernung vor sich geht, nicht immer dieselbe. Die darüber angestellten Versuche ergeben, daß bei verschiedener Dichtigkeit oder Natur der Luft die Entladung eine Strecke von verschiedener Länge übersprang.

Was die Dichtigkeit der Luft betrifft, so thut Snow Harris *) dar, daß die Schlagweiten im umgekehrten Verhältniß zur Dichtigkeit stehen. Er zeigt übrigens auch, indem er einer eingeschlossenen Luftmasse durch Erhitzung einen größeren Druck gab, und dadurch die Schlagweite nicht geändert sah, daß die Schlagweite nicht durch den Druck der Luft bestimmt wird, sondern durch deren Dichte, d. h. durch die Anzahl von Lufttheilchen in einem bestimmmten Raume.

Auch bei anderen Gasen ist die Abhängigkeit der Schlagweite von der Dichtigkeit und deren Unabhängigkeit vom Drucke des Mediums von Döbereiner **) und Schafhäutl ***) gezeigt worden.

---

*) Philos. Trans. 1834. p. 225. Rieß, Lehre rc. Bd. II. S. 94.
**) Schweigg. Journ. Bd. LXII. S. 89.
***) London Edinb. philos. Magaz. 3. Ser. T. XVIII. p. 14.

Ueber den Einfluß der Luftart auf die Schlagweite liegen Versuche von Faraday *) vor. Die folgende Tabelle giebt in der ersten Columne die Namen der geprüften Gase, in der zweiten die zur Entladung nöthige Entfernung der Kugeln (in Pariser Zollen) für positive Elektricität, in der dritten die Entfernung für den Fall, daß die Kugeln mit dem negativen Conductor verbunden waren.

Gase	Mittlere Entfernung der Kugeln	
	+ Elektr.	— Elektr.
Chlorwasserstoffgas . .	1,105	0,72
Oelbildendes Gas . .	0,750	0,73
Luft	0,695	0,63
Kohlensäure	0,640	0,59
Stickstoff.	0,615	0,64
Sauerstoff	0,505	0,51
Steinkohlengas . . .	0,490	0,52
Wasserstoffgas . . .	0,370	0,27

Man sieht, daß die Reihen für positive und negative Ladung des Conductors merklich übereinstimmen. Da alle Gase gut ausgetrocknet, bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke angewendet, sich nicht nach Verhältniß ihrer Dichtigkeit gruppiren, so ist zu schließen, daß außer der Dichte des Gases, noch ein ihm eigenthümliches Leitungsvermögen von Einfluß ist. Die Gase sind also, obgleich Nichtleiter mit verschiedener Fähigkeit versehen, die Elektricität zu zerstreuen.

Dove **) hat nachgewiesen, daß die Natur des Ladungsstromes der elektrischen Batterie ganz identisch ist mit der des Entladungsstromes.

Es kommt bei diesen Versuchen darauf an, die Dauer des Ladungsstromes in einen ebenso kurzen Zeitraum zusammen zu drängen, als die des Entladungsstromes. Dies kann auf die im Folgenden angegebene Weise erreicht werden, durch welche man Ströme von beliebiger Intensität, mit allen Kennzeichen der augenblicklichen Dauer ohne Funkenbildung in einem ununterbrochenen metallischen Leiter erhält.

Von zwei gleichen auf getrockneten Isolatorien stehenden Batterien (jede von 16 Quartflaschen) wurde die eine auf einen bestimmten Grad vermittelst der überspringenden Funken einer Lane'schen Flasche geladen. Die äußere Belegung der wiederum isolirten Batterie wurde dann vermittelst eines Drahtes mit der äußeren Belegung der ungeladenen Batterie verbunden, die Verbindung der inneren Belegungen darauf durch einen Auslader metallisch hergestellt. In dem Augenblicke, wo an dem inneren Verbindungsdrahte der Funke überspringt und die auf der inneren Belegung angehäufte Elektricität sich über beide inneren Belegungen verbreitet,

*) Exper. research. alin. 1381.

**) Poggend. Ann. Bd. LXIV. S. 81.

geschieht ohne Funkenbildung vermittelst des äußeren Verbindungsdrahtes dasselbe auf den äußeren Belegungen. Dies gilt nicht nur für die aus der Schlagweite erfolgende Hauptentladung, als auch für die nachfolgenden kleineren, welche dem ersten Funken bis zur geschlossenen metallischen Berührung folgen. Es entstehen daher in beiden Verbindungsdrähten Ladungsströme, in welchen sich dieselbe Elektricitätsmenge bewegt, aber mit dem Unterschiede, daß bei dem äußeren Strome die Funkenbildung vermieden wird. Was die Intensität dieser Ströme betrifft, so hängt sie von der ursprünglichen Ladung ab, und von dem Verhältniß der Größe der Belegungen der geladenen und ungeladenen Batterie. Trennt man sie wiederum, so gleicht sich bei der Entladung der zweiten Batterie im Schließungsdrahte die positive und negative Elektricität ab, welche sich vorher getrennt in beiden Verbindungsdrähten bewegte. Um die Identität der Wirkung eines Ladungs- und Entladungsstromes zu prüfen, bedarf es daher nur der Vergleichung der Wirkungen, welche bei der Entladung der zweiten Batterie erfolgen mit der Wirkung jedes einzelnen der zuerst erwähnten beiden Ladungsströme.

Dove hat nun eine große Reihe von Versuchen angestellt, aus denen er folgende Resultate zieht:

1) Auch in einem homogenen Schließungsbogen können ganz wie in einem aus verschiedenen Stücken zusammengesetzten Bogen Verzögerungserscheinungen hervorgebracht werden.
2) Primäre Ströme von momentaner Dauer lassen sich in beliebiger Intensität ohne Funkenbildung entwickeln, und zeigen identische Eigenschaften mit denen, welche durch Funkenbildung eingeleitet werden.
3) Wird freie positive Elektricität am Ende a eines Drahtes ab erregt und am Ende b gebunden, so entstehen dieselben Stromeswirkungen, als wenn am Ende a freie positive, am Ende b freie negative Elektricität erregt wird, und beide sich im Drahte neutralisiren, d. h. sowohl der positive als negative Ladungsstrom zeigen identische Wirkungen mit dem Entladungsstrome.

Knochenhauer *) hat über die Spannungsverhältnisse beim Ladungsstrome der Batterie zahlreiche Versuche angestellt, ohne jedoch zu einem bestimmten Endresultate zu gelangen. Die Zusammenstellung seiner Versuche findet sich an den citirten Stellen von Poggend. Annalen.

Eine große Anzahl elektrischer Wirkungen hängt nicht allein davon ab, wie viel positive und negative Elektricität überhaupt sich abgleicht, sondern auch davon, in welcher Zeit diese Abgleichung erfolgt. Dadurch ist unmittelbar ein doppeltes Verstärkungsprincip für diese Wirkungen gegeben, nämlich Vermehrung der Elektricitätsmenge bei gleichbleibender Entladungsdauer, oder Verminderung der Entladungsdauer bei gleichbleibender Elektricitätsmenge. Dieses letztere Princip ist bekanntlich sehr fruchtbar, besonders in Beziehung auf Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität. Die folgenden Untersuchungen von Dove **) über Ströme von Flaschensäulen oder Cascadenströme, wie er sie nennt, zeigen, daß es auch im Gebiete der Reibungselektricität eine beachtenswerthe Anwendung findet.

---

*) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 77 u. Bd. LXXI. S. 343.
**) Poggend. Ann. Bd. LXXII. S. 406.

Vier Batterien, jede von 1000 Quadratzoll innerer Belegung und bestehend aus 5 Flaschen, wurden auf vier Isolirschemmel aufgestellt. Die Innenflächen dieser vier Batterien, B_1, B_2, B_3, B_4 mögen mit i_1 i_2 i_3 i_4 bezeichnet werden, die Außenflächen mit a_1 a_2 a_3 a_4. Die Innenfläche i_1 der ersten Batterie B_1 war mit dem Conductor einer kräftigen Elektrisirmaschine verbunden, die Außenfläche der letzten mit der inneren Belegung einer Lane'schen Maaßflache, deren überspringende Funken die Elektricitätsmengen bestimmten. Die Batterien selbst waren unter einander stufenweise (par cascade) zu einem ganzen Systeme einer Flaschensäule vereinigt, d. h. die Außenfläche jeder mit der inneren der folgenden. Geschah nun vermittelst des Ausladers die Entladung zwischen der äußeren Belegung a_4 der vierten Batterie, und der inneren i_1 der ersten, so entstanden gleichzeitig in den getrennten Drähten vier Entladungsströme, nämlich einer im Schließungsbogen i_1 a_4 durch einen Funken vermittelt, und drei ohne Funkenbildung in den Verbindungsdrähten a_1 i_2, a_2 i_3, a_3 i_4. Bei dem darauf folgenden Versuch wurde nachdem aus a_4 dieselbe Funkenzahl an der Maaßflasche erhalten worden, die Verbindung der dritten und vierten Batterie zwischen a_3 und i_4 aufgehoben, und nun a_3 durch den Schließungsbogen mit i_1 verbunden, in welchem Fall drei Entladungsströme entstanden, und so wurde weiter verfahren, bis zuletzt nur zwischen i_1 und a_2 geschlossen wurde.

Nach Biot's Versuchen*) ist, wenn E die Elektricitätsmenge auf i_1 ist und mE die auf a_1, wo m den von der Entfernung beider Belege von einander und der Isolationsfähigkeit der Zwischenschicht abhängigen Bindungscoefficienten bezeichnet, dann m^2E die auf a_2, m^3E die auf a_3 und m^4E die auf a_4. Bei den angegebenen Versuchen wurde also nach einander die Elektricitätsmenge E abgeglichen mit den Elektricitätsmengen mE, m^2E, m^3E, m^4E.

Bei allen elektrischen Verstärkungsapparaten befinden sich zwei Elektricitätsmengen, deren Verhältniß 1 : m, eine mitgetheilte E und eine durch Vertheilung erregte mE auf zwei gleichen Flächen S. Alle bisherigen Untersuchungen über Schlagweite, Erwärmung, Magnetisirungserscheinungen, Induction und physiologische Wirkungen hatten sich, abgesehen von der Veränderung des Schließungsbogens darauf beschränkt, bei gleichbleibender Oberfläche die Elektricitätsmenge zu verändern, oder dieselbe Elektricitätsmenge auf verschiedene Oberflächen zu bringen. Hier in diesen Dove'schen Versuchen wird nur 1 : m verändert, während E und S dasselbe bleibt.

Die Benennung Flaschensäule rechtfertigt Dove auf folgende Weise: Wenn man die Combinationen galvanischer Elemente unter einander, und elektrischer Flaschen unter einander consequent bezeichnen wollte, so würde es passend sein, für die Verbindung gleichartiger Flächen den Namen Batterie, für die alternirende Verbindung den Namen Säule in beiden Gebieten zu behalten.

Die Ergebnisse der umfassenden Dove'schen Versuche über die Cascadenströme lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

1) Befindet sich auf einer Fläche a^2 eine Menge q positiver und auf der Fläche b^2 eine gleiche Menge negativer Elektricität so ist bei Abgleichung dieser Elektricitäten die erregte Wärme proportional $\frac{q^2}{ab}$, die Schlagweite proportional $\frac{q}{ab}$.

*) Traité. T. II. M. 10. p. 497.

2) Die stufenweise Verbindung gleicher Flaschen zu einer **Flaschensäule** (batterie par cascade) steigert in allen Verbindungsdrähten die Wärme im Verhältniß der stufenweise verbundenen Elemente (Flaschen oder Batterien), die Schlagweite im Ganzen im Verhältniß des Quadrats derselben. Magnetisirung und physiologische Wirkungen nehmen ebenfalls im Verhältniß der verbundenen Elemente zu.

3) Eine Vermehrung des Leitungswiderstandes in irgend einem Verbindungsdraht reagirt in gleicher Weise auf die Ströme aller Verbindungsdrähte.

4) Die von der Elektricitätsmenge und der Oberfläche abhängigen, quantitativen Veränderungen einzelner Stromwirkungen gelten für die aus gleichen Elementen bestehende Flaschensäule, wie für jedes einzelne Element.

5) Die gesteigerte Wirkung der Flaschensäule kann nur durch eine Verminderung der Entladungsdauer erklärt werden.

6) Ob diese Verminderung eine Folge der Combination gleichzeitig sich entladender Elemente, oder eine Function des Verhältnisses der mitgetheilten zur vertheilten Elektricität (1 : m) ist, bleibt noch zu ermitteln.

7) Neutralisiren sich gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität durch eine Entladung, so ist die Dauer derselben am kleinsten, wenn die Elektricitäten bei gegebener mittlerer Dichtigkeit vorher gleiche Dichtigkeit hatten.

Die Dauer der Entladung (Entladungszeit) der elektrischen Batterie *) wird durch das Zeitintervall gegeben zwischen dem Augenblicke, in welchem die Elektricitätsmenge der Batterie abzunehmen anfängt, und dem wo sie erschöpft ist. Sie ist gleich der Dauer des elektrischen Stromes, der die Entladung begleitet, und da jener so lange währt, als der Schließungsbogen elektrisch bleibt, gleich der Dauer des elektrischen Zustandes an jedem Punkte des Schließungsbogens. Es lassen sich hiernach zwei verschiedene Messungsarten der Entladungszeit denken; die eine: durch Beobachtung des elektrischen Zustandes der Batterie selbst, die andere: des elektrischen Zustandes eines Punktes im Schließungsbogen. Die erste Messungsart ist bisher nicht versucht worden, und dürfte schwerlich ausführbar sein. Die bis jetzt bekannten Prüfungsmittel auf Elektricität beruhen auf Bewegung, die eine Zeit verlangt, welche in den meisten Fällen gegen die zu messende Entladungszeit außerordentlich groß ist. Man befestige das empfindlichste Elektroscop an dem Zuleitungsdrahte der Batterie, so wird man es augenblicklich zusammenfallen sehen; bei der Entladung der Batterie durch eine feuchte Schnur oder eine Wassersäule nicht merklich anders, als wenn die Batterie durch einen Metalldrath entladen wird. Dennoch läßt sich aus den Wirkungen des Stroms in beiden Fällen schließen, daß die Entladungszeit im ersten Falle außerordentlich viel größer sei als im zweiten. Es ist aber von dem größten, ja fast alleinigem Interesse, viel geringere Unterschiede der Entladungszeit zu messen, die bei ganz metallischen Bogen stattfinden.

Die zweite Methode die Entladungszeit zu messen, durch Beobachtung der Zeit, während welcher ein Punkt des Schließungsbogens elektrisch bleibt, wollen wir hier beschreiben, obgleich ihre Ausführung mit großen Kosten und Schwierigkeiten verknüpft ist, welche eine Wiederholung der bisher einzigen vorliegenden

*) Rieß, Lehre der Reibungselektricität. Berlin 1853. Th. I. S. 378.

Messung verhindert haben. Die Methode ist nur anwendbar bei einem durch Luft unterbrochenen Schließungsbogen. Wird der starre Schließungsbogen an einer Stelle durch einen Zwischenraum unterbrochen, der bedeutend kleiner ist als die der Batterie zukommende Schlagweite, so findet die Entladung ungehindert statt, und in der schmalen Luftschicht, die an dem elektrischen Zustande des ganzen Bogens Theil nimmt, erscheint ein Funke, der so lange leuchtet, als der elektrische Strom dauert. Man hat daher für die Entladungszeit der Batterie die Leuchtdauer dieses Funkens zu messen, was Wheatstone *) in folgender Weise ausgeführt hat.

Betrachtet man aus großer Nähe das Licht eines entfernt leuchtenden Punktes, in einem ebenen Spiegel, der um eine in seiner Ebene liegende Axe gedreht wird, so sieht man das Bild einen Kreisbogen beschreiben, von dem das katoptrische Gesetz lehrt, daß er in Graden doppelt so groß ist, als die Drehung des Spiegels zwischen den beiden Stellungen beträgt, bei welchen das Bild in das Sehfeld aus und eintritt. Fängt der Punkt später an und hört er früher auf zu leuchten als diese beiden Stellungen vom Spiegel eingenommen werden, so erscheint der Lichtbogen kürzer, und es läßt sich aus der Länge des Bogens der Drehungswinkel des Spiegels während des Leuchtens, und bei bekannter Drehungsgeschwindigkeit des Spiegels die Leuchtdauer des Punktes berechnen. Der Lichtbogen betrage a Grade, so ist die Drehung des Spiegels $\frac{a}{2}$, die, wenn der Spiegel in einer Secunde b Umläufe vollendet, $\frac{a}{720.b}$ Secunde gedauert hat. Wird die Lücke in dem Schließungsbogen einer Batterie in einem ruhenden Spiegel betrachtet, so erblickt man bei der Entladung einen Funken, hingegen einen Lichtbogen, wenn der Spiegel mit hinreichender Geschwindigkeit um seine Axe gedreht wird. Nach der Größe des Bogens und der Umdrehungsgeschwindigkeit des Spiegels, wird die Leuchtdauer des Funkens und damit die Entladungszeit der Batterie berechnet werden können.

Nach den Versuchen von Wheatstone beträgt die Dauer des an der Unterbrechungsstelle des Schließungsbogens erscheinenden Funkens sicherlich weniger als $\frac{1}{72000}$ Secunde.

Bezüglich der von Wheatstone mit demselben Apparate angestellten Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reibungselektricität ist der Art. Elektricität (Bd. II. S. 738 ff.) nachzusehen.

Wenn bei jedem einzelnen Versuche über eine Wirkung der Entladung die Menge und Dichtigkeit der Elektricität leicht und mit genügender Genauigkeit gemessen werden kann, so ist dies mit der Entladungszeit nicht der Fall. Dennoch ist es nützlich, die Entladungszeit als Bedingung der Wirkungen der Entladung nicht fallen zu lassen. Es muß daher für diese Zeit das Maaß indirect gesucht werden, durch eine Wirkung der Entladung selbst, durch die Erwärmung des

*) Phil. Trans. 1834. p. 583. Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 464. Rieß, Lehre von der Reibungselektricität. Th. I. S. 379.

Schließungsbogens nämlich, indem wir, durch Analogie geleitet, bestimmte Aenderungen der Erwärmungen einer Aenderung der Entladungszeit zuschreiben können.

Rieß schreibt nun den Körpern eine Eigenschaft zu, die der Entladungszeit direct proportional sein und Verzögerungskraft heißen soll. Ein Körper habe eine größere Verzögerungskraft als ein anderer, soll hiernach andeuten, daß wenn die Zeit, in welcher derselbe einen elektrisirten Körper entladet, direct gemessen werden könnte, wir in ihm ein geringeres Leitungsvermögen erkennen würden. In der Lehre vom Galvanismus wird diese Verzögerungskraft oder der umgekehrte Werth des Leitungsvermögens aus magnetischen Wirkungen des Stromes geschlossen und mit dem Namen Leitungswiderstand belegt.

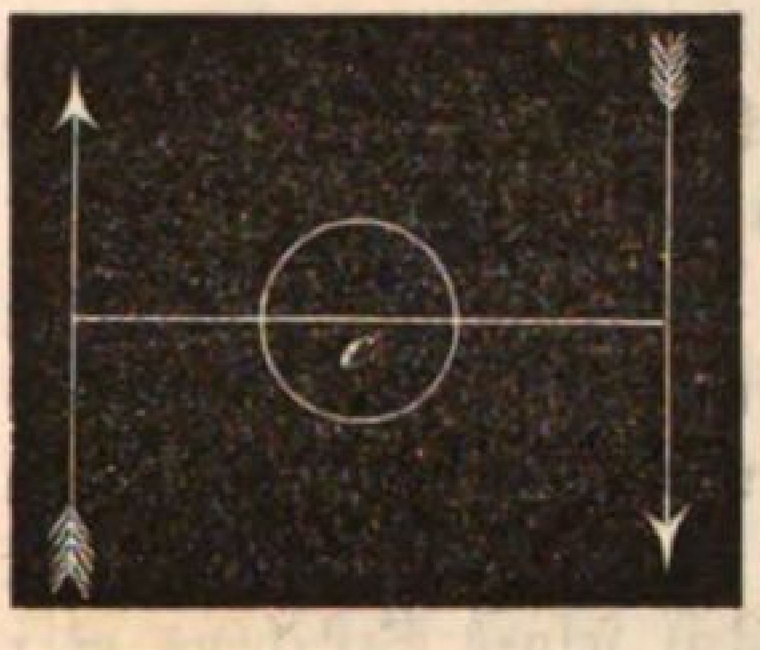
Wir werden nun die Wirkungen der Entladung der Batterie der Reihe nach einzeln betrachten, und zwar die magnetische, die mechanische (nebst Glühen und Schmelzen), die chemische und zuletzt die physiologische Wirkung, während die erwärmende im Art. Wärmequelle ausführlich zur Sprache kommen wird.

Dem elektrischen Strome, der angenommenen Ursache der Veränderungen des Schließungsbogens durch die Entladung der Batterie, muß man bekanntlich eine Richtung zuschreiben, von welcher, wie von der größeren oder geringeren Stärke des Stromes, jene Veränderungen im Allgemeinen abhängig sind. Den Einfluß der Stromstärke, einer bestimmten Funktion der direct gemessenen Elemente: Elektricitätsmenge, Dichtigkeit, Beschaffenheit des Schließungsbogens, kann man bei der Erwärmung auf das bestimmteste angeben, aber die Richtung des Stromes kann als einflußlos gänzlich unbeachtet bleiben. Bei den magnetischen Wirkungen der Entladung stellt sich scheinbar der umgekehrte Fall dar, der Einfluß der Richtung des Stromes ist überall deutlich nachweisbar, aber der der Stärke ist häufig verborgen. Dies rührt keineswegs davon her, daß bei dem Magnetismus des Schließungsbogens die Stärke des Entladungsstromes gleichgültig wäre, sondern hat die zufällige Ursache, daß die Untersuchungsmittel in diesem Felde, bis jetzt ungenügend, und die Versuche, bei welchen jene angewendet werden können, äußerst beschränkt sind.

Der Magnetismus des Schließungsbogens ist nur bei sehr schwachen Strömen, die durch Einschaltung von Halbleitern in den Schließungsbogen erhalten werden, mit Hülfe der Ablenkung der Magnetnadel zu ermitteln, wegen der andernfalls eintretenden experimentellen Schwierigkeiten. Für stärkere Ströme bei ganz metallischer Schließung der Batterie hat man zu einer anderen Wirkung des magnetisirten Schließungsbogens seine Zuflucht genommen. Eine Stahlnadel wird nämlich magnetisch, wenn sie, ohne den Schließungsbogen zu berühren, quer gegen ihn gelegt, und die Entladung der Batterie vollzogen wird. Aber auch dieser Weg ist zur Messung unbrauchbar. Es zeigt sich nämlich die Richtung und relative Stärke des Magnetismus nicht allein von den Bedingungen des Entladungsstromes, sondern auch von der absoluten Entfernung der Nadel vom Schließungsbogen, dem Materiale und den Dimensionen der Nadel abhängig. Es würde also die Untersuchung des Magnetismus im Schließungsbogen auf die wenigen speciellen Versuche beschränkt sein, in welchen eine momentane Ablenkung der Magnetnadel erhalten wird, und selbst in diesen Fällen muß man in Bezug auf die Stärke des Magnetismus Annahmen zugestehen, die nicht hinlänglich durch Versuche geprüft sind. Es

müssen daher die beobachteten Effecte des durch die Entladung magnetisirten Schließungsbogens auf die Magnetnadel und die Stahlnadel für sich abgehandelt werden.

Betrachten wir zunächst die Ablenkung der Magnetnadel durch den Schließungsbogen. Der Schließungsbogen der elektrischen Batterie lenkt, wie der der galvanischen Kette eine in seiner Nähe stehende Magnetnadel in einer eigenthümlichen Weise ab. Die Art der Ablenkung läßt sich am leichtesten an zwei Magnetnadeln deutlich machen, die einander diametral gegenüber an verschiedenen Seiten des Schließungsbogens angebracht sind; man denke sich den Schließungsbogen winkelrecht gegen die Papierfläche der beistehenden Figur, und c als einen Querschnitt des Bogens. Man ziehe willkürlich einen Durchmesser des Querschnitts, verlängere ihn und denke sich winkelrecht darauf zwei Magnetnadeln befestigt, die sich frei um die Durchmesser als Axe drehen können. Die Nadeln werden durch die Richtkraft der Erde einander parallel gestellt, und zwar so, daß ihre gleichnamigen Pole einander gegenüber liegen. Läßt man nun z. B. einen galvanischen Strom durch den Schließungsbogen gehen, so kann man mit Anwendung der bekannten Ampère'schen Regel (s. Art. Elektromagnetismus) leicht den Sinn der Drehungen beider Nadeln finden. Die Figur giebt hiernach durch die Stellung jeder der beiden Nadeln an, daß der Strom von dem Beschauer nach dem Papier zu fließe.



Sechs Jahre nach der Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom gelang es Colladon die Nadel durch den elektrischen Entladungsstrom abzulenken, in dem er sich dazu eines Multiplicators bediente, dessen Windungen gut isolirt waren. Er befestigte das eine Ende des ablenkenden Drahtes an den positiven Conductor einer Elektrisirmaschine und fand die Ablenkung ganz der Ampère'schen Regel entsprechend. Er gab ferner an, daß die Größe des Ausschlagswinkels der Nadel proportional der Geschwindigkeit war, mit welcher die Elektrisirmaschine gedreht wurde *).

Als er den Entladungsstrom des Batterie anwendete ließ er die Entladung durch eine Spitze vor sich gehen.

Faraday **) verzögerte die Entladung der Batterie durch einen feuchten Faden, und fand, daß bei einer doppelten Ladung der Batterie die Ablenkung fast doppelt so groß war. Auch Weber ***) stellte ähnliche Versuche an. Rieß ****) stellte ebenfalls eine Reihe von Versuchen hierüber an und versuchte folgende Resultate daraus zu ziehen:

Die Mehrzahl der beigebrachten Versuche, so roh sie sind, deutet auf folgende Abhängigkeit des Magnetismus im Schließungsbogen von den meßbaren Bedingungen des Entladungsstromes. Die Ablenkung e der Nadel erscheint unabhängig

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXXIII. p 62. Poggend. Ann. Bd. VIII. S. 336. Rieß, Lehre von der Reibelektr. Th. I. S. 469.

**) Exper. researches. al. 363—68. Rieß, Lehre ꝛc. Th. I. S. 471.

***) Abhandlung bei Begründung der sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Elektrodynamische Maaßbestimmungen. S. 86. Rieß, Lehre von der Reibelektr. Bd. I. S. 472.

****) Poggend. Ann. Bd. LXVII. S. 535. Rieß, Lehre ꝛc. Th. I. S. 478.

von der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie und von der Beschaffenheit des Schließungsbogens, ist dagegen abhängig von der Elektricitätsmenge. Der Ausdruck für e enthält also weder die Flaschenzahl der Batterie noch den Verzögerungswerth des Schließungsbogens. Es ist, nach Analogie zu schließen wahrscheinlich, daß die Sehne des Ausschlagswinkels l proportional der angewandten Elektricitätsmenge ist, wenn auch der einzige darüber angestellte Versuch nicht zum Beweise dieser Annahme ausreicht.

Rieß *) stellt nach den so gemachten Annahmen folgenden Satz auf: Die Stärke des durch die Batterieentladung im Schließungsbogen erregten Magnetismus ist proportional der Dichtigkeit der Elektricität in der Batterie, umgekehrt proportional dem Verzögerungswerthe des Schließungsbogens. Die Richtung des Magnetismus ist nach der Ampère'schen Regel von der Richtung des Entladungsstromes abhängig.

Wird die einfache oder nfache Elektricitätsmenge bei constanter Dichtigkeit aus einer Batterie entladen, so ist der Magnetismus im Schließungsbogen derselbe, nur wird er im zweiten Falle eine nfache Zeit hindurch währen. Wird dagegen die Dichtigkeit einer constanten Elektricitätsmenge von 1 auf n gebracht, so ist der Magnetismus in zweiten Falle nmal stärker, die Zeit seines Bestehens aber nmal kleiner, als zuvor. Ebenso verhält es sich mit dem Verzögerungswerthe des in den Schließungsbogen eingeschalteten Leiters. Je unvollkommener die Einschaltung leitet, desto schwächer wird der Magnetismus des Schließungsbogens sein, aber in gleichem Verhältnisse wird die Zeit vergrößert, in welcher der Bogen magnetisch bleibt. Beobachtet man also eine Wirkung des magnetisirten Schließungsbogens, bei der die Stärke der Einwirkung nicht durch ihre Dauer ersetzt werden kann, so muß der Erfolg nach Elektricitätsmenge, Dichtigkeit und Beschaffenheit des Schließungsbogens verschieden sein. Dies zeigt sich in der That auf das Bestimmteste bei der Magnetisirung von Stahlnadeln, zu der wir jetzt fortgehen.

Mehrere Thatsachen, daß der Blitz z. B. auf einem Schiffe die Compaßnadel ummagnetisirte **), und stählerne Gegenstände die sich in einem Kasten befanden, der vom Blitze getroffen worden war, stark magnetisch geworden waren ***) erregten die Aufmerksamkeit der Physiker. Als Franklin die elektrische Natur des Blitzes aufzeigte, war er bemüht, Stahlnadeln dadurch zu magnetisiren, daß er den Entladungsschlag einer Batterie durch sie leitete. Der Versuch gelang ihm ****) aber mit Erfolgen in Betreff der Richtung des ertheilten Magnetismus, die ihn wieder bedenklich machten.

Wilcke, d'Alibard und Beccaria wiederholten diese Versuche mit einander widersprechenden Resultaten. Wilcke †) dachte zwar schon an den Ein-

*) Rieß, Lehre rc. Th. I. S. 480.

**) Phil. Transact. abridg. T. II. p. 308 (philosophical transactions abridged by Hutton, Shaw, Pearson 18 vol 4. Lond. 1809).

***) Philos. Transact. 1732. No. 437. — Abridg. T. VIII. p. 25. Reimarus, vom Blitze. p. 66.

****) Exper. and observ. p. 91.

†) Abhandlungen der schwed. Akadem. übersetzt von Kästner. 1766. S. 315.

fluß der Lage der Nadel; aber van Marum zeigte, daß man sich auf falschem Wege befand, daß die elektrische Entladung in diesem Falle nicht unmittelbar magnetisire, sondern überall mittelbar durch die Erschütterung, die sie der Nadel giebt. Es war nämlich schon durch Du Fay bekannt, daß eine mit einem Hammer geschlagene Stahlnadel Magnetismus annimmt, dessen Richtung von der Lage der Nadel gegen die Resultante des Erdmagnetismus bestimmt wird. — Erst in neuerer Zeit ist die unmittelbar magnetisirende Kraft des Schließungsbogens der Batterie entdeckt worden. Kurze Zeit nach der Entdeckung des Magnetismus der galvanischen Kette zeigte Arago im Moniteur (10. Nov. 1820) an, daß er Stahlnadeln magnetisirt habe in Glasröhren, um die ein Draht schraubenförmig gelegt war, durch welchen er elektrische Funken gehen ließ, und zwei Tage später machte Davy ausführliche Versuche über diesen Gegenstand bekannt *). Diese Versuche wurden von Erman **), v. Beek ***), La Borne ****) und Böckmann †) abgeändert. Zur Magnetisirung der Nadeln ist eine momentane Entladung nöthig, verzögert man diese durch Einschaltung von Wasser, Säuren oder Elfenbein in den Schließungsbogen, wie es früher zur Ablenkung der Nadel erfordert wurde, so erfolgt keine Magnetisirung. Als Davy die Entladung durch einen Luftzwischenraum gehen ließ, erhielt eine gegen diesen normal gelegte Nadel einen schwachen Magnetismus. Von dem Schließungsdrahte wirkt nur ein kleines Stück auf die Nadel, wenn er gerade ausgespannt ist; um die Einwirkung zu vergrößern, muß man den Draht schraubenförmig aufwinden und dann die Nadel in die Axe der Schraube bringen. Die Ampère'sche Regel zeigt, daß jeder Theil einer Windung, die hier die Nadel umgiebt, auf die Nadel in gleichem Sinne magnetisirend wirken muß.

Die Magnetisirung durch den Schließungsbogen, durch die vorhergehenden Versuche im Allgemeinen festgestellt, ist von Savary ††) nach ihren näheren Bedingungen untersucht worden, und fand sich nicht allein von den Bedingungen des Entladungsstromes, sondern auch von Umständen abhängig, die für die elektrische Seite der Erscheinung ohne Bedeutung sind. Hierher gehört zuerst die absolute Entfernung der Nadel vom Schließungsbogen, die auf Stärke und Richtung des erregten Magnetismus von dem wesentlichsten Einflusse ist. Arrangirt man den Versuch so, daß man eine Anzahl Stahlnadeln neben einem Drahte, durch den der Schlag geht, in immer zunehmender Entfernung anbringt, so zeigt sich, daß die Nadeln nicht alle gleich gerichtet, sondern ein Theil derselben in einem dem Ampère'schen Gesetze entgegengesetzten Sinne magnetisirt sind.

Nachfolgende Tabelle mag das Gesagte deutlicher machen. Wir wollen mit + die Magnetisirung im Ampère'schen Sinne oder die normale, mit — hingegen die umgekehrte oder anomale bezeichnen.

Als Maaß der Stärke des Magnetismus ist die Zeitdauer von 60 Schwingungen der Nadel in Secunden angegeben. Eigentlich ist die Stärke dem Qua-

*) Gilb. Ann. Bd. LXXI. S. 232.
**) Schweigg. Journ. Bd. XXXVII. S. 24.
***) Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 24 u. 27.
****) Ann. de Chim. et de Phys. T. XVI. p. 194.
†) Gilb. Ann. Bd. LXVIII. S. 12.
††) Ann de chim. et de Phys. T. XXXIV. p. 30.

drate der Zeit proportional, hier kommt es jedoch nur auf die Vergleichung des Mehr oder Weniger an.

Entfernung der Nadel vom Drahte in Millimetern	Dauer von 60 Schwingungen in Secunden, und Richtung der Magnetisirung
0,0	+ 63,1
1,1	— 149,0
2,0	unmagnetisch
3,0	+ 85,6
4,3	+ 65,6
5,5	+ 63
6,7	+ 73,6
8,0	+ 92,2
8,6	— 188,0
9,6	— 94,8
10,5	— 77,2
12,3	— 61,2
13,5	— 56,4
14,6	— 56,0
15,7	— 59,4
16,9	— 63,0
18,2	— 65,0
19,1	— 76,8
20,0	— 94,2
20,9	— 149,0
21,4	unmagnetisch
23,3	+ 83,7
32,7	+ 41,4
44,0	+ 34,0
70,0	+ 43,2
100,0	+ 62,2
130,0	+ 88,2

Wir sehen hier ein und dieselbe Entladung verschieden gerichteten Magnetismus erregen, so daß 12 Nadeln der Regel gemäß; 13 ihr widersprechend, magnetisirt werden. Diese verschiedene Magnetisirung tritt gruppenweise auf, indem für eine Anzahl auf einanderfolgender Entfernungen die Nadeln in gleichem Sinne magnetisirt werden. Aber innerhalb jeder Gruppe tritt der merkwürdige Umstand ein, daß die Stärke des Magnetismus zuerst mit wachsender Entfernung steigt, dann abnimmt.

Die Ausdehnung der Gruppen wurde nicht wesentlich geändert als kürzere Nadeln angewendet wurden, hängt aber wie Savary durch Versuche zeigte, von der Dicke der Nadeln und dem Grade ihrer Härtung wesentlich ab.

Die Vertheilung der Magnetisirungsgruppen wird auch durch Länge und Dicke des Schließungsdrahtes bestimmt. Savary nahm verschieden dicke Drähte

und glich sie durch Veränderung ihrer Länge so ab, daß sie bei gleichen Entladungen gleiche Magnetisirungsgruppen gaben.

Auch durch Aenderung der Batterieladung werden die Gruppen der Magnetisirungen gänzlich geändert, die Versuche ergeben aber, daß diese durch gesteigerte Entladungen gebildeten Gruppen der Magnetisirung keine neue Erscheinung sind, sondern unmittelbar aus der Verschiebung der früher betrachteten Gruppen folgen.

Die Magnetisirung von Nadeln in Drahtschrauben, ist später auch durch elektrische Ströme bewirkt worden, die nicht unmittelbar von der Batterie ausgehen (Nebenströme). In Folge der Versuche an dem Nebenstrome sind auch die so eben angeführten Savary'schen Versuche am Hauptstrome von Hankel *) wieder aufgenommen und erweitert worden.

Aus den von Hankel an verschiedenartigen Drähten angestellten Versuchsreihen ist zu folgern, daß Schließungsbogen von gleichen Verzögerungswerthen ungleiche Magnetisirungen hervorbringen können. Eine Bestätigung und Erweiterung der schon von Savary gemachten Bemerkung.

Diese Bemerkung ist das für die Elektricitätslehre wichtigste Ergebniß aller Versuche über die Magnetisirung durch den Schließungsbogen. Nehmen wir irgend welche Drähte, deren Länge, Radius und Verzögerungskraft des Metalls durch l, r und x bezeichnet werden, und machen wir durch Aenderung der Dimensionen der einzelnen Drähte $\frac{l_{,}\, x_{,}}{r^2_{,}} = \frac{l_{,,}\, x_{,,}}{r^2_{,,}} =$ ꝛc. Jeder dieser Drähte werde in aufeinanderfolgenden Versuchen zu einem Schließungsbogen hinzugesetzt, der ein Luftthermometer und eine Magnetisirungsspirale enthält. Das Thermometer wird durch die Entladung einer Batterie zu demselben Grade erwärmt werden, welcher von den Drähten auch im Schließungsbogen befindlich sein mag, aber eine in der Spirale liegende Nadel wird dabei nicht dieselbe Magnetisirung erfahren. Zwei Entladungsströme also, die, nach den Wärmeerscheinungen beurtheilt, identisch sind, können noch von einander verschieden sein, da sie sonst nicht eine verschiedene Wirkung auf die Nadel haben könnten.

Hankel schließt seine Arbeit noch mit folgender Bemerkung **); „Nur so viel sei hier noch bemerkt, daß das ganze in dieser Abhandlung besprochene Phänomen ein Interferenzphänomen zwischen aufeinanderfolgenden Partialfunken des Entladungsschlages oder zwischen den gewissermaßen, wellenförmigen Bewegungen derselben ist. In dem Drahte besteht die Fortleitung des elektrischen Funkens nur in einer Aenderung des Molecularzustandes, die nach dem Aufhören des Funkens ebenfalls wieder aufhört. Der Eintritt und das Aufhören dieser Veränderungen erzeugt nun eine den Wellen vergleichbare Erscheinung, und durch das Zusammentreffen des Endes eines Funkens mit dem Anfange eines folgenden entsteht ebenso gut eine Interferenz, als durch das Zusammentreffen des Berges und Thales der Wasserwellen. Es könnten nun unter den verschiedenen Einwirkungen von Innen und Außen theils die Längen dieser Wellen, also die Längen der Funken, oder vielmehr die Zeiten zwischen dem Anfange und dem Ende dieser Molecularveränderungen im Drahte sich vergrößern oder verkleinern (Entstehung verschiedener Farben

*) Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 537 u. Bd. LXIX. S. 321.
**) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 351.

der Elektricität), oder es könnten durch die eingeschalteten Drähte aus vorhandenen gemischten Wellen (wenn ich dieses Ausdrucks mich bedienen darf) der Perioden einige vernichtet werden, wenn sie sich mit dem Gefüge des Drahtes durchaus nicht vereinigen lassen, während andere ungehindert in dem Drahte entstehen und vergehen (farbige Absorption), oder es könnten die Geschwindigkeiten in der Aufeinanderfolge und der Fortleitung sich ändern."

Hier sind auch noch kurz die elektrodynamischen Wirkungen des Schließungsbogens der Batterie während der Entladung zu betrachten. So wie jeder Theil des Schließungsbogens einer Voltaischen Kette auf einen beweglichen Theil desselben Bogens so einwirkt, daß er diesem Theile eine Bewegung in bestimmter Richtung ertheilt (siehe die betreffenden Artikel), so findet die elektrodynamische Wirkung auch durch einen elektrischen Entladungsstrom statt, nur daß bei der kurzen Dauer dieses Stromes keine feste Ablenkung, sondern, wie bei der Wirkung auf die Magnetnadel, ein momentaner Ausschlag des beweglichen Schließungsdrahtes hervorgebracht wird, nach welchem der Draht wieder in seine anfängliche Lage zurückkehrt. Auch hier ist die Wirkung durch einen einfachen Schließungsdraht nicht merklich zu machen, und man muß das feste wie das bewegliche Stück des Drahtes in eine Menge von Windungen legen. Zugleich ist eine Verbindung des festen mit dem beweglichen Stücke anzubringen ohne die Bewegung des letzteren zu hemmen. W. Weber hat zu diesen Versuchen ein eigenes Instrument, das Elektrodynamometer, construirt*). Bei demselben können nur sehr schwache elektrische Entladungsströme angewendet werden, da hier noch mehr als bei dem Multiplicator Gelegenheit gegeben ist, daß die Elektricität den ihr angewiesenen Weg verläßt und quer durch die Umspinnung der Drähte oder die anderen isolirenden Theile des Apparats übergeht.

Weber hat über die elektrodynamischen Wirkungen des Batterieentladungsstromes Versuche angestellt **), aus denen Rieß ***) unter gewissen Voraussetzungen nachstehenden Satz folgert; daß nämlich die durch elektrodynamische Wirkung einem beweglichen Theile des Schließungsbogens ertheilte Winkelgeschwindigkeit proportional sei der Wärmemenge, die durch die Entladung an einer constanten Stelle des Schließungsbogens erregt wird. — Zu diesem Satze kann man auf experimentellem Wege nicht gelangen, da die Ausschläge am Dynamometer nur durch abgeschwächte Entladungsströme zu erhalten sind, welche ein Thermometer nicht afficiren.

Wir kommen zur Betrachtung der mechanischen Wirkung der Entladung, und dem Glühen und Schmelzen.

Bei den bisher betrachteten Wirkungen des Entladungsstromes sind nur Ladungen der Batterie von geringerer Dichtigkeit gebraucht worden, und die Beschaffenheit des Schließungsbogens wurde durch die Versuche nicht geändert. Steigert man die Ladungen bis zu einer gewissen Stärke, so wird der Schließungsbogen während der Entladung verbogen, zerrissen, zerschmettert, und Theile desselben

---

*) S. Art. Elektromagnetismus. Bd. II. S. 309 ff.
**) Elektrodynamische Maaßbestimmungen. S. 84.
***) Rieß, Lehre ꝛc. Th. I. S. 507.

werden mit großer Gewalt umhergeworfen. Je weniger Masse, einen je kleineren Querschnitt der Bogen besitzt, desto leichter ist er durch die Entladung zu zerstören.

Einen eigenthümlichen Einfluß hat die Materie des Schließungskörpers auf die mechanische Wirkung, je nachdem er ein Leiter oder ein Nichtleiter ist.

Betrachten wir zuerst die mechanische Wirkung der Entladung auf luftförmige Isolatoren. Ist der Schließungsbogen der Batterie in einer Stelle unterbrochen, so wird die Luft oder Gasmasse, die sich in der Unterbrechungsstelle befindet, durch die Entladung unter Funkenerscheinung durchbrochen und mit Heftigkeit nach allen Seiten geschleudert, so daß in der Nähe befindliche leichte Körper durch die bewegte Luftmasse zerstreut und aus einander gefegt werden *).

Läßt man in der Kugel eines Luftthermometers einen Funken überschlagen, so wird durch den plötzlichen Druck die Sperrflüssigkeit vorwärts bewegt.

Knochenhauer **) fand bei derartigen Versuchen, wenn s die Anzahl der Flaschen in der Batterie und q die durch die Maaßflasche gemessene Elektricitätsmenge bedeutet, daß die Senkung der Sperrflüssigkeit immer proportional war mit $\frac{q^2}{s}$. Da jedoch bei Veränderung der Dichtigkeit $\left(\frac{q}{s}\right)$ die Länge der von der Entladung durchbrochenen Luftstrecke in gleichem Verhältniß geändert werden mußte, so folgt aus diesem Versuche, daß die Senkung der Flüssigkeit bei constanter Luftstrecke der Elektricitätsmenge einfach proportional war.

Henley ***) beobachtete, daß die Flamme einer Wachskerze, zwischen die beiden Kugeln eines Ausladers gebracht, bei nicht zu starker Ladung immer von der positiven zur negativen Kugel geblasen wurde. Brande ****) zeigte, daß die Bewegung der Flamme nicht allein von dem Luftstrome, sondern auch von einer elektrischen Einwirkung abhängt, die nach der Natur der Flamme nach der einen oder anderen Seite gerichtet ist. So wurden die kohlenstoffhaltigen Flammen, die Flamme des Wasserstoffs, der Benzoesäure von der negativen, die des Phosphors, Schwefels, Phosphor- und Schwefelwasserstoffs von der positiv elektrischen Kugel angezogen. Es ist also hier eine chemische oder elektroskopische Wirkung mit der mechanischen verbunden.

Bringt man feste Isolatoren in den Entladungskreis, so werden diese durch eine hinlänglich starke Entladung durchbohrt und zerschmettert. Das Holz wird gewöhnlich gespalten und in Stücken umhergeworfen, durch Glas und Glimmer wird mit einem Funken und Knalle ein Loch geschlagen, dessen Ränder undurchsichtig sind, da in ihnen die Masse zu Pulver zermalmt worden ist. Läßt man den Entladungsfunken über eine isolirende Fläche schlagen, so zeichnet er seinen Weg mit einer unauslöschlichen Spur. Lockere, unvollkommene Isolatoren, namentlich Papier und Baumwolle, werden von dem Entladungsschlage leicht durchbohrt. Die hierher gehörigen Versuche sind früher mit großer Aufmerksamkeit verfolgt worden, da man in ihnen einen Beweis für und gegen die Existenz zweier

---

*) Priestley, Phil. Trans. 1769. abridg. T. 12. p. 601.

**) Poggend. Ann. Bd. LVIII. S. 229.

***) Phil. Transact. 1774. — abridg. T. XIII. p. 555.

****) Philos. Transact. 1814. p. 51. Schweigger, Journ. d. Chem. Bd. XI. S. 67.

Elektricitätsarten zu sehen glaubte. Symmer *) untersuchte ein Buch Papier das Franklin durch den Entladungsschlag einer Leidner Batterie durchbohrt hatte, und fand das Loch im ersten und letzten Blatte mit auswärts getriebenen Rändern. Auch in Pappe schlägt die Entladung ein Loch, das an beiden Flächen einen erhabenen Rand zeigt. Daraus ist aber nur zu schließen, daß die mechanische Wirkung sich nach allen Seiten äußert und keine bestimmte Richtung hat. Die Papierfasern werden dahin gerichtet, wo sie keinen Widerstand finden, also senkrecht gegen die Flächen der Pappe.

Die Wirkung der Entladung in Flüssigkeiten ist der in festen Körpern analog, nur daß sie durch die Eigenthümlichkeit der Flüssigkeiten, einen an einer Stelle angebrachten Druck nach allen Seiten fortzupflanzen, in hohem Grade verstärkt wird. Durch isolirende Flüssigkeiten geht die Entladung nicht anders hindurch, als mit Funken und mechanischer Wirkung, durch leitende, auch ohne diese Erscheinungen. Befindet sich die Flüssigkeit in einer verschlossenen Röhre durch deren Ende die Leitungsdrähte gehen, so wird die Röhre durch einen Funken von mäßiger Länge zerschmettert. Auf diese Weise hat Singer **) Glasröhren zerbrochen, die $1/2$ Zoll Glasdicke hatten.

Was die Wirkung der Entladung auf gute Leiter anlangt, so werden die Metalle durch die Entladung zerstäubt, wobei dieselben eine große Gewalt auf den sie verschließenden Körper ausüben. Ein gläsernes mit Quecksilber gefülltes Haarröhrchen, das eine bedeutende Glasdicke besitzen kann, zersplittert bei der Entladung der Batterie durch das Quecksilber ***). Ein Goldblattstreifen wurde von Franklin zwischen zwei Glastafeln gelegt ****), das Gold zerstäubte und die Platten wurden häufig zersplittert.

Die mechanische Wirkung ist überall mit Wärmeentwickelung verbunden, die bei den Metallen Glühen und Schmelzen hervorbringt, worüber besonders Rieß ausführliche Untersuchungen angestellt hat †), die im Folgenden kurz mitgetheilt werden sollen.

Die erste mechanische Wirkung, die ein im Schließungsbogen angebrachter dünner Draht erfährt, besteht in einer merkbaren Erschütterung des Drahtes und in dem Losreißen von Metalltheilchen von seiner Oberfläche, die sich in Gestalt eines dichten grauen Dampfes von ihm erheben; zugleich erscheinen Funken an den Stellen, wo der Draht in den Schließungsbogen eingefügt ist. Größere Metalltheile die an diesen Stellen losgerissen und fortgeschleudert werden, geben den Funken ein sprühendes Ansehen. Diese Erscheinungen fehlen zwar niemals, allein sie sind in Betracht ihrer Stärke nicht constant. Durch fortgesetzte Steigerung der Ladung erhält man eine constant auftretende und bleibende Aenderung am Drahte, welcher bei einer bestimmten Entladung plötzlich wie von einem kantigen Instrumente eingedrückt erscheint. Ueberall, wo die Einbiegung ungehindert stattfindet,

*) Philos. transact. 1759. T. IV. — abrigd. T. XI. p. 415.

**) Gilb. Ann. Bd. XXIII. S. 426. Rieß, Lehre rc. Th. II. S. 10.

***) Rieß, Lehre rc. Th. II. S. 11.

****) Exper. and. observat.

†) Abhandl. der Berl. Academ. d. Wiss. 1845. Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 481. Rieß, Lehre rc. Th. II. S. 11.

ist sie stumpfwinklig. Rieß hat sie in mehreren Fällen gemessen, und wenig von 100 Grad entfernt gefunden.

Steigert man die Entladung, durch die ein Draht die ersten Einbiegungen erhält, so kommt er ins Glühen. Die Abhängigkeit dieser Erscheinung von ihren Bedingungen läßt sich am leichtesten übersehen, wenn man in den Schließungsbogen, der den zu glühenden Draht enthält, ein elektrisches Thermometer einschaltet und beobachtet, dessen Draht aber so gewählt ist, daß die Entladung keine mechanische Wirkung auf ihn äußert.

Rieß folgert aus den darüber angestellten Versuchen, daß das Glühen eines Drahtes ebenso wie seine Erwärmung abhängig ist von dem Producte der angewandten Elektricitätsmenge in ihre Dichtigkeit. Hat man daher in einem bestimmten Schließungsbogen die zum Glühen nöthige Elektricitätsmenge und Flaschenzahl gefunden, so ist die Größe jenes Products gegeben und es läßt sich für eine beliebige Flaschenzahl die Elektricitätsmenge berechnen, die zum Glühen desselben Drahtes erforderlich ist.

Was das Glühen nach der Länge des Drahtes betrifft, so findet Rieß, daß durch n Flaschen mehr als die nfache Länge eines Drahtes ins Glühen gebracht wird, der durch die Entladung einer Flasche glüht. Je dünner der zu glühende Draht ist und aus je besser leitenden Stücken der Schließungsbogen zusammengesetzt ist, desto näher kommt das Verhältniß der glühenden Längen dem der zum Versuche gebrauchten Anzahl Flaschen.

Für das Glühen nach der Dicke des Drahtes giebt Rieß folgendes Gesetz an: Die Stärke des Entladungsstromes einer Batterie die zum Glühen eines Drahtes erfordert wird, ist dem Biquadrate des Radius desselben proportional.

Was das Glühen verschiedener Metalle anbetrifft, so hängt dies von der elektrischen Verzögerungskraft derselben ab. Außerdem hat die Wärmecapacität und das specifische Gewicht des Metalls auf diese Versuche Einfluß.

Wird die Stärke der Entladung noch mehr gesteigert, so tritt Weißglühen ein, und bei noch stärkerer Entladung werden die Drähte von ihren Befestigungen losgerissen. Der Anblick der zerstückten Drähte lehrt, daß hier wirklich eine Zerreißung, keine Schmelzung vorliegt.

Setzt man Drähte einer stärkeren Entladung aus als der zu ihrer Zerreißung nöthigen, so werden sie unter Lichterscheinung in eine Menge kleiner Stücke zersplittert, die weit umhergeworfen werden. An den aufgesammelten Stücken läßt sich erkennen, daß eine Schmelzung nur secundär auftritt.

Durch fortwährend gesteigerte Entladung schmelzen die kleinen Splitter an der Oberfläche und an den Enden und fließen zuletzt in Kugeln zusammen. Bei den leichter oxydirbaren Metallen wird die Temperatur gesteigert durch die Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft und es tritt zu der elektrischen Erhitzung noch eine chemische hinzu. Am auffallendsten zeigt sich dies bei dem Eisen, das oft bei Entladungen schmilzt, die direct nur ein mäßiges Glühen erzeugt haben würden.

Wir kommen zur Betrachtung der chemischen Wirkung des Entladungsschlages der Batterie. Unter chemischer Wirkung versteht man

die Verbindung getrennter chemischer Grundstoffe oder Trennung der mit einander verbundenen. Beides wird durch die elektrische Entladung geleistet, indem man den metallischen Schließungsbogen einer Batterie unterbricht und die chemisch veränderliche Substanz in der Unterbrechung anbringt. Oft genügt es wohl auch statt der Flasche den Conductor einer Elektrisirmaschine anzuwenden.

Man muß jedoch wohl unterscheiden zwischen den chemischen Wirkungen, die die Elektricität vielleicht blos secundär durch Erhöhung der Temperatur hervorbringt, und zwischen den eigentlich elektrischen Wirkungen. Für die chemische Wirksamkeit der Elektricität besitzen wir ein untrügliches, aber nur auf die Zersetzung nicht luftförmiger Stoffe anwendbares Merkmal. Es lassen sich nämlich an der im Schließungsbogen angebrachten Substanz die Stellen unterscheiden, an welchen die positive Elektricität in die Substanz hinein und aus ihr heraustritt. Werden diese Stellen auch durch die Verschiedenheit der an ihnen ausgeschiedenen Stoffe sichtbar, so sollen die Versuche unter der Bezeichnung: elektrische Zersetzung oder Elektrolyse angeführt werden.

Verbindungen oder Zersetzungen durch die elektrische Entladung. Oxydirung von Metallen. Kupfer- oder Eisendrähte, durch eine Entladung glühend gemacht, nehmen Sauerstoff aus der Luft auf und werden lebhaft blau, gelb oder roth gefärbt. Andere Metalle erhalten in dieser Weise weniger merkbare Färbungen, die aber sehr zierlich hervortreten, wenn man den Entladungsfunken wiederholt von einer Spitze auf polirte Metallplatten schlagen läßt. Es entstehen hierdurch auf der Platte gefärbte Ringe, die unter dem Artikel Figuren, elektrische ausführlicher beschrieben werden. Der Dampf, der sich durch die Entladung von dem Drahte erhebt, oder in den die ganze Masse verwandelt wird, besteht bei den leicht oxydirbaren Metallen unzweifelhaft aus Oxyd. Ob dies auch bei den edlen Metallen der Fall ist, dafür fehlen entscheidende Beweise. Van Marum *) hat eine große Masse solcher Zerstäubungen von Metallen in großem Maßstabe ausgeführt und die Färbungen angegeben, welche Papiere erhielten, die 1/8 Zoll von den zerstäubten Drähten entfernt waren. Auch Metallverbindungen werden zersetzt. Läßt man den Entladungsschlag über Zinnober gehen, so erhält man das ausgeschiedene Quecksilber in Kügelchen. Van Marum **) hat auf diese Weise mehrere Metallverbindungen zersetzt.

Der Entladungsfunke zersetzt Flüssigkeiten, durch die er hindurchgeht, und macht aus ihnen Gasarten frei. Priestley ***) erhielt Wasserstoff aus Schwefeläther, Olivenöl, Terpentinöl, Pfeffermünzöl, Alkohol. Am meisten hat man sich mit der Zersetzung des Wassers beschäftigt. Im November 1789 zersetzen Paets von Troostwyck und Deimann ****) zum ersten Male das Wasser. Nach 600 Entladungen der Batterie waren 1 1/2 Zoll der ebenfalls 1 1/2 Zoll weiten Röhre mit einem Gemenge von Sauerstoff- und Wasserstoffgas

*) Beschreibnng einer großen Elektrisirmaschine. 40. — 1. Fortsetz. 13. — 2. Fortsetzung 57. Rieß, Lehre ꝛc. Th. II. S. 36.

**) Beschreib. einer gr. Elektrisirmaschine. S. 39.

***) Experim. and observat. on diff. kiuds of air. Lond. 1774. p. 245.

****) Gren Journ. d. Phys. T. II. p. 130. — Ann. d. Chim. T. V. p. 276.

gefüllt. Pearson *), Ritter **) und Wollaston ***) variirten den Versuch. Faraday ****) bewies, daß sich an jeder der eingetauchten Spitzen beide Gasarten entwickelten. Durch einen Versuch von Grove *****) scheint es aber bewiesen, daß die Wasserzersetzung nur der intensiven Hitze zuzuschreiben ist, in welche die Zersetzungsspitzen durch die Entladung versetzt werden. Damit ist aber nicht behauptet, daß nicht eine wirkliche elektrische Zersetzung des Wassers erhalten werden könne, und eine solche scheint wirklich, wie ich weiter unten anführen werde, in neuerer Zeit aufgezeigt worden zu sein.

Merkwürdig ist ferner die Bildung von Salpetersäure in der Luft durch den elektrischen Schlag. Von den wesentlichen Bestandtheilen der Luft, Stickstoff- und Sauerstoffgas, verbindet der elektrische Funke beziehungsweise 2 Volumina mit 5 zu Salpetersäure, aber nur dann, wenn zugleich Wasserdampf in der Luft vorhanden ist. Cavendish †) stellte zuerst genaue Versuche darüber an, und Faraday ††) machte den Versuch handlicher, indem er über ein mit Kalilösung getränktes Stück Lackmuspapier elektrische Funken schlagen ließ, bis das Papier durchaus geröthet war. Getrocknet und angezündet verglimmt das Papier mit Heftigkeit, wodurch der gebildete Salpeter angezeigt wird.

Auch die Bildung von Ozon (s. d. Art.) durch den elektrischen Schlag ist zu erwähnen. In der Luft, durch die elektrische Funken gegangen sind, wird ein eigenthümlicher Geruch bemerkt. Schon Franklin vermuthete, daß er erst durch Einwirkung der Elektricität auf die Luft entstehe. Schönbein hat in neuerer Zeit gezeigt, daß derselbe Geruch auch entwickelt wird bei der Wasserzersetzung durch die Volta'sche Säule, und bei der Einwirkung des Phosphors auf die Luft. Ueber die Natur des Ozons sind viele Untersuchungen angestellt worden, die noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden können (siehe diesen Artikel).

Auch Gase werden durch den elektrischen Schlag verändert, Salzsäuredampf wird in Wasserstoff und Chlor geschieden, aus Kohlenwasserstoff wird Kohle abgeschieden und dergleichen mehr.

Die Wirkung des Funkens auf entzündliche Gase untersucht man in dem Eudiometer, einem in der Chemie zur Trennung der Gase von einander bestimmten Instrumente. Knallgas wird entzündet und bildet Wasserdampf. 1 Volumen Wasserstoff und 1 Volumen Chlor geben Salzsäuredampf, 2 Vol. Kohlenoxyd und 1 Volumen Sauerstoff geben 2 Volumen Kohlensäure rc.

Außer den entzündlichen Gasen werden auch noch andere leicht entzündliche Körper entzündet, wie: Alkohol, Aether, Semen Lycopodii, Schießpulver rc.

Die eigentliche Elektrolyse besteht in einer Zersetzung, die auf die beiden Stellen beschränkt bleibt, an welchen der Schließungsbogen in die zu zersetzende Substanz eingetaucht wird.

---

*) Phil. Trans. 1797.
**) Gilb. Ann. Bd. IX. S. 4.
***) Phil. Trans. 1801. Gilb. Ann. Bd. XI. S. 10.
****) Exper. and researches al. p. 328.
*****) Phil. Trans. 1847. — Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 214.
†) Phil. Trans. 1788.
††) Erper. Rescarch. alèn. p. 325.

Die Elektrolyse befolgt das Gesetz, daß von dem zusammengesetzten Körper, die Säure an dem den positiven Strom zuleitenden Drahte, die Basis an dem ableitenden frei gemacht wird.

Wollaston *) zersetzte auf diese Weise schwefelsaures Kupferoxyd und Quecksilberchlorid, Faraday **) Jodkalium, Glaubersalz u. a. m.

Davy ***) behauptet das Wasser auf rein elektrochemischen Wege zersetzt zu haben. Faraday ****) konnte für die Elektrolyse des Wassers keinen entscheidenden Versuch erhalten und erklärte die bis dahin angestellten Versuche für zweifelhaft.

Später hat Armstrong *****) durch die Dampfelektrisirmaschine, welche Elektricität in früher nicht gekannter Menge liefert, diese Elektrolyse angeblich wirklich ausgeführt, doch dürfte auch hier eine Wiederholung der Versuche sehr zu wünschen sein.

Unter physiologischer Wirkung der Entladung wird die Wirkung auf den lebenden pflanzlichen und thierischen Organismus verstanden. Die Versuche an Pflanzen †), die an den mit auffallender Beweglichkeit begabten, Mimosa pudica, Berberis vulgaris, Hedysarum gyrans, angestellt worden sind, haben aber zu keinem Resultate geführt, da es zweifelhaft geblieben ist, ob nicht eine beobachtete Wirkung der Reibungselektricität rein mechanischer Natur war. Das bekannte von Hawkesbee ††) zuerst wahrgenommene Spinnewebengefühl bei Annäherung der Hände oder des Gesichts an den Conductor ist von einer elektroskopischen Wirkung auf die äußere Haut abzuleiten. Eine physiologische Einwirkung findet statt, wenn man einen Funken aus dem Conductor zieht oder seinen Körper in den Schließungsbogen einer Batterie einschaltet. Der Eindruck des letzteren Versuches als er zuerst angestellt wurde, war so stark, daß Muschenbrök †††) erklärte, er wolle ihn nicht für die Krone Frankreichs wiederholen. Aber der Schrecken wich bald der Neugier und der Versuch wurde sehr oft wiederholt.

Was als elektrischer Schlag bezeichnet wird, begreift die Gesammtheit sehr verschiedener Empfindungen. Die Entladung bewirkt die Erregung der Gefühlsnerven, die als Schmerz empfunden wird, eine unwillkürliche Zusammenziehung der Muskeln, die gleichfalls schmerzlich sein kann, ein Erschrecken, das mit dieser Zusammenziehung verbunden ist, und endlich einen örtlichen Schmerz an den Stellen des Körpers, an welchen der Entladungsstrom ein oder austritt. Der örtliche Schmerz wird nur in dem Falle empfunden, wo die Entladung von einem schlechtleitenden Medium aus wie die Luft den Körper trifft.

Die Nervenerregung wächst mit der Elektricitätsmenge und Dichtigkeit, und nimmt ab mit der Verminderung des Leitungswiderstandes im Schließungsbogen.

---

*) Gilb. Ann. Bd. XI. S. 108.
**) Exper. research. alin. 312—326. u. alin. 455—471.
***) Gilb. Ann. Bd. XXVIII. S. 158.
****) Exper. research. al. 330. 339.
*****) Poggend. Ann. Bd. LX. S. 354.
†) Rieß, Lehre von der Reibungselektr. Th. II. S. 61.
††) Philos. Trans. 1706.
†††) Gehler's Wörterb. Bd. IV. S. 397. Rieß, Lehre rc. Bd. II. S. 61.

Die Sache wurde experimentell näher untersucht von Du Bois Reymond *), Munk af Rosenschöld **), Volta ***) und Anderen. Volta lud kleinere und größere Flaschen so, daß sie einen Schlag von gleicher Stärke geben mußten. Hierbei wurde ein merkwürdiger Unterschied in der Qualität des Schlages gefunden, der sich deutlich wahrnehmen, aber nur unvollkommen beschreiben läßt. Volta nennt die Schläge der kleinen Flaschen, also der mit dichterer Elektricität von geringerer Menge geladenen, lebhaft, scharf und vibrirend, die der größeren voll und tief. Rieß will die erstere, bei weitem unangenehmere als spitze, die letzteren als stumpfe Schläge bezeichnen. Zur Lösung dieser Frage führte Cavendish ****) Versuche aus, aus welchen er folgert, daß die physiologische Wirkung in größerem Verhältnisse mit der Elektricitätsmenge wächst als mit der Dichtigkeit.

Ueber die Erregung der Sinnesnerven durch die elektrische Entladung sind nur wenige Erfahrungen vorhanden, die zumeist an kranken Personen gewonnen wurden. Versuche sind von Le Roy *****) und Wilke †) angestellt worden. Volta ††) empfand, als er die Zunge an den positiv elektrischen Conductor legte, einen saueren, am negativen einen alkalischen Geschmack.

Der örtliche Schmerz verhält sich ganz so wie die Zündung fester Körper, die durch die Einschaltung von Halbleitern in den Schließungsbogen befördert wird. Wir werden hierdurch darauf hingewiesen, daß dieser Schmerz von einer anfangenden Verletzung der Haut herrührt, die nach den folgenden Erfahrungen zu einer wirklichen Verwundung gesteigert werden kann.

Als Peter Collinson †††) den Schlag einer stark geladenen Batterie mit der Hand auffing, zeigte sich auf dieser eine Anschwellung von der Größe einer halben Pistolenkugel. Ebenso bemerkte Wilke nach einem starken Schlage der ihn am Kopfe und linken Fuße traf und zu Boden warf, am Kopfe und an dem linken Beine eine kleine Beule. Le Roy hat in einer größeren Versuchsreihe die Wirkung des Funkens auf die Haut untersucht. Es entstanden weiße Flecke, Beulen und Eiterblasen. Mit Kugeln gezogene Funken waren viel weniger schmerzhaft als die, welche mit dem Ende eines Eisendrahtes oder der Spitze eines Nagels erhalten wurden.

Zum Schlusse noch einige geschichtliche Notizen über die elektrische Flasche.

Am 11. Octbr. 1745 machte der Prälat von Kleist in Kamin (Pommern) folgende elektrische Erfahrung, die er am 4. November dem Doctor Lieberkühn in Berlin mittheilte ††††). Ein eiserner Nagel war in ein Medicingläschen gesteckt, in dem sich einige Tropfen Alkohol oder Quecksilber befanden. Als der

---

*) Untersuchungen über thier. Elektr. Bd. I. S. 289.

**) Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 445.

***) Gilb. Ann. Bd. XIV. S. 261.

****) Phil. Trans. 1776.

*****) Mem. de mathem. etc. de l'Acad. de France. 1755.

†) Franklin's Briefe über Elektr. Leipzig 1758. S. 312.

††) Sull elettr. animale lettera 2. a Vassalli. Collezione. T. II. p. 208.

†††) Rieß, Lehre ꝛc. Bd. II. S. 70.

††††) Versuche und Abhandl. der naturforschenden Gesellschaft in Danzig. Bd. II. S. 408.

Nagel an dem Conductor einer Elektrisirmaschine elektrisirt, und während des Elektrisirens mit der Hand berührt wurde, empfand der Berührende im Arm und in der Achsel einen heftigen Schlag. Ohne den Kleist'schen Versuch zu kennen erhielt im Jan. 1746 ein Herr Cuneus in Leyden zufällig einen solchen Schlag. Die Professoren Allaman und Musschenbrök wiederholten den Versuch mit Erfolg. Die Theorie der Flasche wurde von Franklin in einem vom 1. Sept. 1747 datirtem Briefe gegeben *). Bevis **) endlich ersetzte die durch die umfassende Hand und die eingegossene Flüssigkeit gebildeten Belegungen durch Metallblättchen. We.

Flaschenzug, s. Rolle.

Fliegen (lat. volare; franz. voler; engl. to fly) ist die den Vögeln mit einigen Ausnahmen, einigen Säugethieren und vielen Insecten eigenthümliche Art der Bewegung, durch welche sie im Stande sind, sich in der Luft nicht nur schwebend zu erhalten, sondern auch fort zu bewegen.

Die Mechanik des Fliegens hat ihre großen Schwierigkeiten, denn dem Vogel z. B. stehen zu viele subtile Mittel zu Gebote, die er beim Steigen und Sinken, oder zum Fortschweben, oder zur Spiralbewegung benutzen kann, als daß es gelingen könnte, dieselben der Berechnung zu unterwerfen. Wie will man die verschiedenen Wendungen der Flügel, ihre Ausbreitung und Verkürzung in ihrer Wirkung in mathematische Formeln bringen, wie den Einfluß, welchen das Vorstrecken oder Einziehen des Kopfes und Halses hat, wie die stärkere Bewegung des einen Flügels, wie die verschiedene Stellung des Schwanzes etc.? Dennoch ist man vor dieser Aufgabe nicht zurückgeschreckt und hat sie wenigstens in ihren Principien zu erfassen gesucht. Die Literatur über diesen Gegenstand ist ziemlich reichhaltig, und deshalb wollen wir sie gleich zu Anfang dieses Artikels zusammenstellen, um dann die Ergebnisse der Forschung nicht immer unterbrechen zu müssen.

In einem Werke des Kaiser Friedrich II. „de arte venandi cum avibus" handelt Cap. 49 von dem Flugzeuge und Cap. 54 von den verschiedenen Flugarten; doch ist hier nicht von der Mechanik des Fliegens, sondern nur von den Besonderheiten im Fluge verschiedener Vögel ***) die Rede.

Die Mechanik des Fluges hat zuerst wissenschaftlich zu bearbeiten versucht der Neapolitaner Borelli in seinem, in vielen Ausgaben erschienenem Werke „de motu animalium." Es wird zuerst der Bau der Fittige beschrieben, darauf zu ihrer Flugbewegung fortgegangen und die Definition aufgestellt, es sei der Flug eine aus häufig wiederholten auf die Luft sich stützenden Sprüngen zusammengesetzte Bewegung. — Wenn man bedenkt, daß nach dem damaligen Zustande der Mechanik es ein großes Unternehmen war, eine Theorie des Fluges zu geben; so wird man selbst bei den Mängeln das Verdienst Borelli's um den Gegenstand nicht unterschätzen dürfen ****).

---

*) Exper. and observ. p. 12.

**) Philos- Trans. 1748. Watson account of exper. London 1748. p. 71.

***) Eine Ausgabe dieses Werkes ist von Joh. Gottlob Schneider, Lipsiae, impensis J. G. Muelleri Heredum. 1788. Hinzugefügt ist noch: Albertus Magnus de falconibus, asturibus et accipitribus, ex libro ejus XXIII de animalibus.

****) Jo. Alph. Borelli, Neapolitani Matheseos Professoris de motu animalium cet.

Mehr als hundert Jahre waren seit dem Erscheinen des Borelli'schen Werkes verflossen, als Joh. Es. Silberschlag, ein preußischer Consistorialrath, über den Flug der Vögel wieder schrieb *). Er handelt in dem ersten Abschnitte von den Werkzeugen des Fluges, im zweiten von dem verschiedenen Verhalten der Vögel beim Fluge, und liefert, obgleich seine Theorie unzureichend erscheint, viele schätzenswerthe, praktische Bemerkungen und besonders wichtige Data über den Flug eines zahmen Adlers.

Huber, ein schweizerischer Falkner, hat ebenfalls über den Flug der Vögel geschrieben; doch hat er nur den Flug der Raubvögel im Auge und bezieht sich in Betreff der Mechanik des Fliegens ausdrücklich auf Borelli **).

Von Barthez besitzen wir ein gerühmtes Werk, welches Kurt Sprengel aus dem Französischen übersetzt hat. Das Werk handelt von den Bewegungen der Menschen und Thiere und natürlich ist hier auch von dem Vogelfluge die Rede; doch erscheint die Vorstellung, welche Barthez von demselben hat, nirgends klar ***).

Vollständiger und wissenschaftlicher, als alle seine Vorgänger hat Nic. Fuß in den Petersburger Denkschriften vom Jahre 1799 den Gegenstand behandelt. Er sucht die Aufgabe dem mathematischen Calcul zu unterwerfen und gelangt zu Formeln, deren Prüfung durch die Silberschlag'schen Data für die Richtigkeit seiner Theorie und für die Möglichkeit eines kräftigen und schnellen Fluges durch bloßen Flügelschlag spricht ****).

Jos. Prechtl hat 1805 eine Theorie des Fluges zu entwerfen gesucht, ohne die Arbeit von Fuß zu kennen. Was er in einzelnen Abhandlungen †) gegeben, sollten eigentlich Vorarbeiten zu einer größeren Arbeit sein. Ein Hauptverdienst desselben besteht in seinen Versuchen über den Widerstand der Luft und die Bestimmung des Widerstandscoefficienten. Das Hauptwerk ist erst viel später erschienen ††). Die Schrift behandelt A) die Naturlehre und B) die Mechanik des Fluges, und zwar A: 1) die Beschreibung der Organe, welche beim Fluge gebraucht werden und die Art ihrer Wirksamkeit; 2) die äußere Gestaltung des Vogels in Beziehung auf das Fluggeschäft; die Art, wie die Organe, welche beim Fluge der Vögel thätig sind, in den verschiedenen Flugbewegungen zusammen wirken. B: 1) Untersuchungen über die Lage des Widerstandpunktes einer um eine Axe sich drehenden widerstehenden Fläche, und über das Maaß des Luftwiderstandes, auf welchen sich die Hebung des Vogels durch den Flügelschlag gründet; 2) Gleichungen über die Wirkung des Flügelschages zur Hebung des Vogels;

Romae 1680 u. 1681; Lugd. Bat. 1685; Genevae 1685; Bononiae 1699; Lugd. Bat. 1710; Neapoli 1734; Hagae Comit. 1741. Die Abhandlung über das Fliegen ist auch enthalten in: Le Clerc et Magret; Biblioth. Anat. 1685. Vol. II. 316 u. 890.

*) Schriften der Berlinischen Gesellschaft naturforschender Freunde 1781. Bd. II. S. 214—270.

**) Huber (de Genève), Observations sur le vol des oiseaux de proie, Genève chez Paul Barde. 1784.

***) Neue Mechanik der willkürlichen Bewegungen des Menschen und der Thiere. 1800.

****) Nova Acta Soc. Scient. Imper. Petrop. Tom. XV. 1806. p. 88.

†) Gilb. Ann. Bd. XIX. S. 376. Bd. XXIII. S. 130. Bd. XXX. S. 302.

††) Joh. Jos. Prechtl. Untersuchungen über den Flug der Vögel. Wien 1846 bei Herold, vergl. auch: Wien. Sitzungsber. 1849. Heft 4. S. 273.

3) mechanische Wirkung des Flügelschlages zur Vorwärtsbewegung des Vogels; 4) Form des Flügels; 5) specielle Nachweisungen; 6) Schwerpunkt des Vogelkörpers und Einrichtungen, welche die Natur getroffen hat, um den Vögeln beim Fluge die möglichst genaue, der Bewegungsrichtung parallele Richtung ihrer Längenaxe möglich zu machen. 7) Untersuchungen über das Verhältniß des Gewichts der Flügel zu dem des Körpers; 8) Untersuchungen über die Flügellänge; 9) über das Niedersinken und Schweben beim Fluge der Vögel; 10) Einfluß der Windströmung auf den Flug und die Hebung des Vogels; 11) Bedingungen des Flugs in höheren Luftrevieren und 12) Untersuchungen über die Muskelkraft, welche die Vögel in ihren Flugbewegungen aufzuwenden haben.

Zachariä hat sich viel mit dem Gegenstande beschäftigt, und ist besonders seine Geschichte der Luftschwimmkunst", Leipzig 1823. S. 131 ff. reich an manchen guten Bemerkungen. Von dem Fluge der Vögel handeln auch dessen Elemente der Luftschwimmkunst. Wittenberg. 1807. Cap. 3. §. 84. bis 110. S. 137 bis 204.

In den Verhandlungen der schweizer. naturforsch. Gesellschaft Jahrg. 1849. S. 59. finden sich Beiträge zur Theorie des Vogelfluges von Kummer, wobei auch auf den Flug der Schmetterlinge Rücksicht genommen wird.

Ueber den Flug der Insecten handelt auch Barthez in §. 24. seines oben angeführten Werkes, aber um nichts deutlicher, als über den Flug der Vögel; außerdem hat hierüber Chabrier geschrieben *).

Als etwas Absonderliches kann noch erwähnt werden, eine Schrift von Meerwein **), sie ist sehr oberflächlich und hat nur etwas Gutes, nämlich eine Tabelle über das Gewicht und die Schirmfläche mehrerer Vögel. Ueber die Kunst zu Fliegen verweisen wir auf den Art. Flugmaschine.

In Betreff der Anatomie der Vögel mögen hier nur zwei classische Autoren eine Stelle einnehmen, nämlich Cuvier ***) und Tiedemann ****).

Aus der Schrift Prechtl's, deren Inhalt absichtlich ausführlicher angegeben worden ist, ersehen wir, wie viele Punkte bei einer Untersuchung des Vogelfluges ins Auge zu fassen sind, und gleichwohl ist auch da noch Manches unerledigt geblieben. In dem Folgenden können nur die Resultate der bisherigen Forschung Aufnahme finden; wegen des besseren Verständnisses erscheint es jedoch nothwendig, vorher über den Bau des Vogels einen kurzen Ueberblick zu geben, so weit derselbe für den vorliegenden Gegenstand von Einfluß erscheint.

Die Vögel weichen in ihrem Baue wesentlich von dem der Säugethiere ab. Viele Knochen sind ohne Mark, hohl und atmosphärische Luft aufzunehmen fähig; auch finden sich nur wenig Knorpel. Der Halswirbel sind 9 bis 23. Brustwirbel, Lendenwirbel und Kreuzbein sind verwachsen. Das Brustbein ist groß,

---

*) Mém. du Mus. d'Hist. nat. T. VI. p. 410—475; T. VII. p. 297—372; T. VIII. p. 47—110.

**) L'art de voler à la manière des oiseaux par Charles Fréderic Meerwein, Architecte de S. A. S. Mgr le Prince de Baade. Basle chez Tourneisen. 1785. T. XLIV. p. 8.

***) Cuvier, Leçons d'Anatomie comparée. Paris 1799—1805. V. vol. auch deutsch von Fischer 1801 (vergl. Th. I. S. 614) und von J. F. Meckel. Leipzig 1809.

****) Anatomie und Naturgeschichte der Vögel. Heidelberg 1810 vergl. Th. I. S. 347.

schildförmig und namentlich bei den wirklich fliegenden Vögeln in der Mitte durch den erhabenen Brustbeinkamm ausgezeichnet. Die Rippen, deren nie über 10 Paare sind, bestehen aus zwei beweglichen Stücken, welche unter einem Winkel an einander stoßen und durch Zwischenrippenknochen unter einander befestigt sind; das eine Rippenstück geht von den Rückenwirbeln aus, das andere kommt von dem Brustbeine her. Die vorderen Extremitäten, welche sich zu den Flügeln ausbilden, haben starke Schlüsselbeine und ein säbelförmiges Schulterblatt, und sind noch durch einen V förmigen Knochen, das Gabelbein (eine eigenthümliche Entwickelung des Rabenschnabelfortsatzes) an dem Brustbeine befestigt. Die Knochen der Handwurzel und Mittelhand sind verkümmert und es finden sich nur 3 Finger: der Daumen, kleine Finger und Mittelfinger. Die hinteren Extremitäten bestehen aus einem kurzen, am Leibe anliegenden Oberschenkel, ferner aus einem einknochigen Unterschenkel (bisweilen findet sich noch ein grätenförmiger Nebenknochen) und aus einem einzigen, die Fußwurzel und dem Mittelfuß vertretenden Knochen, dem Laufe. Die Zehen, deren 2 bis 4 vorhanden sind, sind mit Krallen versehen. Die Schädelknochen verwachsen bald und lassen keine Nähte zurück. Das Hinterhauptsbein hat nur einem Gelenkfortsatz, mittelst dessen der Kopf auf dem obersten Halswirbel eingelenkt ist. Oberkiefer, Nasenbein ꝛc. sind verwachsen und bilden den mehr oder weniger beweglichen Oberschnabel. Der Unterschnabel besteht aus zwei unter einem Winkel, Kinnwinkel zusammenstoßenden Knochen.

Das Skelet des Vogels zeichnet sich also in seinem Rumpfe namentlich durch die feste Verbindung der einzelnen Theile aus, und ebenso durch die besondere Stabilität des Schulterblattes und Schlüsselbeins, da diese den Flügeln, welche den ganzen Vogel zu tragen haben, zum Stützpunkte dienen. Der Mangel des Markes in den Knochen giebt dem Knochengerüste Leichtigkeit, und dadurch, daß die Knochen hohl sind, erhalten sie außerdem eine noch größere Festigkeit. Der lange Hals ist sehr beweglich, ebenso der Kopf wegen seiner Einlenkung an nur einem Gelenkfortsatze.

Die Muskeln sind sehr kräftig, namentlich die von der Brust zum Flügel gehenden. Die Lungen liegen fast an der hinteren Wand der Brust, so daß das Athemholen erleichtert wird, und mit ihnen stehen im Unterleibe liegende Luftbehälter in Verbindung. Die Anfüllung des Körpers mit Luft scheint den gewöhnlichen Athmungsproceß zu ersetzen und dient außerdem dazu, den Muskeln festere Stützpunkte zu geben.

Der Körper ist bedeckt mit Federn, welche aus dem Stamme oder Schafte (am unteren Theile mit der hornartigen Spuhle) und der Fahne oder dem Barte bestehen. Zwischen den größeren Federn liegen die weicheren Flaumfedern, Dunen. Die Federn des Schwanzes, welcher oft ein Keilschwanz oder Gabelschwanz ist, heißen Steuerfedern, die Federn der Flügel Schwungfedern und zwar unterscheidet man Schwungfedern der ersten und zweiten Ordnung und Schulter- oder Deckfedern.

Die Gestalt der Flügel ist bei den Vögeln verschieden, je nach ihrer Bestimmung. Prechtl unterscheidet Vögel, bei welchen der erste Flügelknochen größer ist, als der zweite, z. B. bei den Hühnern und Tauben, und Vögel, bei denen der zweite Flügelknochen den ersten an Größe übertrifft, z. B. bei den Raubvögeln. Bei anderen fliegenden Thieren besteht der Flügel aus einer zwischen den

Flügelrippen ausgespannten Haut, z. B. bei den Fledermäusen und Schmetterlingen, überhaupt bei allen fliegenden Insecten.

Die Oberfläche der Flügel ist bei den schlechtfliegenden Vögeln breit, aber kurz und abgerundet, z. B. bei den hühnerartigen Vögeln; bei den schnellsten Fliegern, z. B. bei den Schwalben, Seevögeln und Raubvögeln, finden wir langgestreckte, schmale Flügel.

Wenn der Vogel fliegt, so bewegt er seine Flügel auf und nieder, er macht Flügelschläge. Die Schnelligkeit der Flügelschläge und die Weite des Schlagwinkels sind von großer Bedeutung, jedoch der Größe nach schwer zu bestimmen. Die Anzahl der Flügelschläge in einer Secunde variirt zwischen 2 und 20, die Größe des Schlagwinkels zwischen 20° und 150°, so daß man 90° als das Gewöhnliche annehmen könnte. Bei den Tauben geht der Schlagwinkel wohl oft noch über 150°, wie aus dem Zusammenschlagen der Flügel sich ergiebt. Bei schwachen Fliegern, z. B. Sperlingen, Kolibri's, desgleichen bei den Käfern, ist die Anzahl der Schläge sehr bedeutend und scheint mit der Größe und Länge, vielleicht auch mit der Muskelkraft im umgekehrten Verhältnisse zu stehen.

Ueber das Verhältniß des Gewichtes und der Schirmfläche hat Meerwein für mehrere Vögel die nöthigen Data gegeben:

	Gewicht		Schirmfläche Quadratzoll	Es kommen also auf	
				1 Pfund Quadratzoll	200 Pfund Quadratfuß
	Pfd.	Lth.			
Wilde Ente .	2	20	165,20	62,93	126,00
Gabelweihe .	1	11	360,00	268,00	402,00
Fischreiher .	2	28	450,06	165,55	313,00
Trappe . . .	17	16	873,20	50,00	99,88
Schwan . .	14	16	844,46	58,24	116,48
Eule . . .	—	18	178,38	317,12	634,24
Dohle . . .	1	2	211,96	199,49	398,98
Schnepfe . .	—	22	78,50	144,18	228,36
Rebhuhn . .	—	26	69,65	85,50	171,00

Der zahme Adler, an welchem Silberschlag Beobachtungen anstellte, wog 8 Pfund und schleppte am Fuße eine vierpfündige Kugel nach; die Länge seiner Flügel von Spitze zu Spitze mit Inbegriff des Leibes war 6 Fuß, ihre

Breite $1\frac{1}{3}$ Fuß. Der Adler machte in einer Secunde nahe drei Flügelschläge. Fuß, welcher zur Prüfung seiner Theorie die an diesem Adler gemachten Beobachtungen zu Grunde legte, fand durch Rechnung für die Dauer eines einfachen Flügelschlages 0,1876 Secunden, also für den ganzen Schlag 0,3752 Secunden, was mithin ausreichend übereinstimmt. Die Geschwindigkeit der Flügelspitze fand Fuß = 28,87 Fuß, und daraus schloß er, daß, ungeachtet der Rückenmuskel, welcher den Flügel hinauf zieht, dem Brustmuskel an Stärke nachsteht, der Aufschlag des Flügels ebenso schnell erfolge als der Niederschlag, indem durch den Niederschlag bei der großen Geschwindigkeit ein leerer Raum hervorgebracht werde.

Nach Prechtl ist die Form des Flügels, mit der Beobachtung übereinstimmend, eine Parabel, deren Parameter $= \frac{l^2}{b}$, wenn l die Länge und b die größte Breite des Flügels bezeichnet. Diese Fläche hat die Eigenschaft, daß der Widerstandspunkt derselben in der halben Länge des Flügels liegt.

Den Schwingungspunkt des Flügels nahm Silberschlag bei seinem Adler an in einer Entfernung von 19 Zoll von dem Gelenke, die Stelle, wo die Brustmuskeln am Flügelarme angewachsen sind, in $\frac{3}{4}$ Zoll Entfernung. Hieraus wurde die Muskelkraft eines Flügels bei jedem Schlage auf 152 Pfd., also auf das 38fache des Gewichtes berechnet. Borelli kam über die Muskelkraft der Flügel zu einem ganz anderen Resultate, nämlich, daß dieselbe das Gewicht des Vogels 10 Tausendmal übertreffe; doch ist die Basis seiner Berechnung, daß nämlich die Kraft der Muskeln, welche der Mensch beim Sprunge aufwenden müsse, nahe das 3000fache seines Gewichtes betrage, jedenfalls unrichtig und somit auch sein obiges Resultat. Nach Silberschlag's Resultate ergiebt sich also die Unstatthaftigkeit der Meinung, nach welcher die Vögel im Fluge eine ungeheure von jener der übrigen Thiere ganz abweichende Muskelkraft auszuüben hätten.

Ueber andere Verhältnisse, namentlich über die Untersuchungen bezüglich der Lage des Widerstandspunktes und der Größe des Luftwiderstandes, verweisen wir auf Prechtl und die aus Gilbert's Annalen angeführten Stellen. Hier genüge es anzuführen, daß Fuß und Prechtl Gleichungen gefunden haben, welche die Bedingungen des Flügelschlages enthalten, aus denen sich das Gewicht des Vogels, die Flügelfläche, die Anzahl der Flügelschläge in einer Secunde, die Größe des Schlagwinkels, das Verhältniß der Zeit des Rückschlages zu der des Niederschlages, die Hebung ꝛc. bestimmen lassen, und daß die Resultate mit den Beobachtungen stimmen.

Aus diesen Rechnungen geht hervor, daß ein kräftiger Flieger, der nur sein eigenes Gewicht zu tragen hat, gar wohl im Stande ist, durch die bloße Kraft seiner Flügel mit immer größerer Schnelligkeit zu einer bedeutenden Höhe sich zu erheben, bis die zunehmende Verdünnung der Luft in den höheren Regionen eine abnehmende Geschwindigkeit bedingt. Zugleich ergiebt sich, daß dem Vogel nach einem anhaltenden und lebhaften Flügelschlage Geschwindigkeit genug übrig bleibt, um auch ohne sichtbare Bewegung der Flügel, welche ihrer beträchtlichen Ausdehnung wegen hierbei als Fallschirm dienen, der in der Luft Widerstand findet, eine Zeit lang horizontal in der Luft fortzuschweben, wozu dann wohl auch die Strömungen der Luft ihm behülflich sein mögen.

In Betreff des Fluges in höheren Luftrevieren zeigt Prechtl, daß bei demselben Kraftaufwande die Geschwindigkeit vorwärts in der Höhe bedeutender werde, oder für dieselbe Geschwindigkeit wie in der unteren Region ein geringerer Kraftaufwand nöthig sei; wozu übrigens der in der dünneren Region verminderte Luftwiderstand auf den Vogelkörper nichts beiträgt, da die gleiche Verminderung unter dem Flügel beim Niederschlage desselben stattfindet. Die Vögel erheben sich jederzeit, wenn sie eine Reise zu machen haben, so hoch in die Luft, als es sonst die Verhältnisse ihrer Flugwerkzeuge gestatten, wie denn öfter Züge von Kranichen über dem Brocken (gegen 4000′ Höhe) bemerkt worden sind.

Die Meinung von Reinhold Forster *), daß der Vogel ein Luftballon sei, ergiebt sich als gänzlich unstatthaft. Zur Begründung seiner Meinung nahm er in den Knochen verdünnte Luft an, eine Füllung mit einem durch den Respirationsproceß erzeugten Gase. Die Luft in den Knochen ist im Gegentheil comprimirt und dient wohl nur zur Verstärkung der Festigkeit.

Das Heben des Vogels durch bloße Flügelschläge haben Fuß und Prechtl aus ihren Theorien nachgewiesen. Nun bleiben aber noch andere Bewegungen übrig und namentlich, außer dem bereits erwähnten Schweben, die Vorwärtsbewegung. Prechtl hat auch in dieser Beziehung die mechanische Wirkung des Flügelschlages untersucht und kommt zu dem Resultate, daß der Flügel so eingerichtet sei, daß während des Niederschlages nur ein Theil desselben als ebene Fläche zur Hebung wirke, ein anderer mit ersterem einen Winkel bildender Theil hingegen zur Vorwärtsbewegung diene. Hiermit stimmt auch Borelli überein, indem er der Meinung ist, daß sich die Federspitze umbiege, und daß daher bei dem Niederschlagen der Flügel der Vogel vorwärts geschoben werde, und ebenso Kummer, der sich speciell dahin äußert, daß der Vorderrand des Flügels steifer sei als der Hinterrand; daß beim Heben des Flügels daher der Vorderrand höher gehe, der Hinterrand zurückbleibe und der Flügel so eine schiefe Ebene bilde, welche durch eine Componente des Widerstandes, den sie erleidet, den Körper vorbewege. Umgekehrt bleibe beim Niederdrücken des Flügels der weichere Hinterrand nach oben zurück, der Flügel nehme also eine entgegengesetzte Neigung an und treibe dadurch den Körper wieder vor.

Schwieriger als die mechanische Ableitung des Hebens, Schwebens und Vorwärtsfliegens ist die Untersuchung der anderen Bewegungen des Vogels bei seinem Fluge, namentlich der Mechanismus der verschiedenen Wendungen. Nach einer gewöhnlichen Ansicht dient hierzu der Schwanz, welcher das wie bei einem Schiffe hinten angebrachte Steuer sein soll. Indessen ein Vogel kann auch ohne Schwanz, sei es, daß er absichtlich, oder durch Zufall desselben verlustig gegangen ist, noch gut fliegen und Wendungen machen; folglich ist der Schwanz zu derartigen Bewegungen kein unumgängliches Erforderniß, abgesehen davon, daß er dann zweckmäßiger vertical, als horizontal gestellt, und zweckmäßiger horizontal als vertical beweglich sein müßte. Auch die Fledermaus macht, ungeachtet ihr ein Schwanz fehlt, wie wir ihn bei den Vögeln finden, beliebige Wendungen. Das Wenden eines Kahnes, wiewohl der Vogel keineswegs mit einem solchen verglichen werden darf, kann man bei zwei Rädern, von denen an jeder Seite sich eines

*) Nova acta Soc. Scient. Imper. Petrop. T. XV. 1806. p. 88.

befindet, durch ungleiche Niederschläge bewirken; ebenso hülft sich der Vogel durch ungleiche Flügelschläge. Hierzu kommen indessen wohl noch manche andere Hülfsmittel, als Richtung des Halses, Neigung der durch die Flügel gehenden Querare des Körpers und dergleichen. Zachariä (a. a. O. S. 168) betrachtet den Schwanz ebenfalls als Steuer, aber wohl mit Unrecht. Er sagt: drei Steuer hat der Vogel: die beiden Flügel und den Schwanz. Will er

a) gerade ausfliegen, so heben, bei Kraft- und bei Schwebeflug, die beiden Seitensteuer als entgegengesetzte gleiche Kräfte einander auf; das Schwanzsteuer liegt wagerecht.

b) Will er wenden, so macht

α) das Schwanzsteuer allein (?) die Wendung, weit mit kleinster Drehung um des Vogels Längenare, enger mit größerer Drehung;

β) das eine Seitensteuer kommt zu Hülfe für noch engere Wendungen;

γ) das zweite Seitensteuer kommt zu Hülfe für noch weit engere Wendungen: und für die möglichst enge Wendung greifen alle drei Steuer mit möglichst großer gleichnamiger Drehung ein — augenblickliche Wendung auf dem Fleck = Umdrehen, wie das Umdrehen der Windmühlwelle, nur daß an dieser vier solche Steuer stehen, wie hier die drei. (?)

Der Schwanz scheint dem Vogel besonders zu nützen, indem er ihn ausbreitet, einmal um den Fall nach der Erde zu mäßigen, und zweitens um beim Aufwärtssteigen den Flug plötzlich zu hemmen; ebenso dient er, wofür die Bachstelze einen Beleg giebt, zu allmäligen Hebungen und Senkungen im Fluge. Kummer stimmt hiermit auch überein.

Ueber die Höhe, bis zu welcher die Vögel sich erheben, haben wir oben schon die über den Brocken hinwegziehenden Kraniche angeführt; Silberschlag führt an, daß ein Adler sich über den Wolken, in einer Höhe von etwa 3000′, befunden habe; A. v. Humboldt *) bemerkt, daß der Condor oft senkrecht über ihm unter einem Sehwinkel von 4 Minuten geschwebt habe, also in einer absoluten Höhe von 21834 bis 26990 Fuß.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Vögel fliegen, ist bisweilen sehr bedeutend. Es genüge hier ein Beispiel: „Zur Zeit Henrici II. erschwung sich bei Fontainebleau ein Sacret von seiner Faulconnerie, so einer Ringel-Endten nachjagte, und ward den folgenden Tag, welches Unser Frawen Tag, im Martio, in der Insel Maltha gefangen, wie der Großmeister, so dazumal allda war, dem Könige, beneben Ueberschickung bemeldeten Vogels zugeschrieben“ **). Die Geschwindigkeit dieses Falken betrug also mindestens 71,3 Fuß, oder über 10 Meilen in einer Stunde.

Ueber den Flug der Insecten spricht sich Zachariä (a. a. O. S. 173) dahin aus, es lasse sich im Voraus vermuthen, daß, ehe eine genügende Erklärung

*) Ansichten der Nat. Bd. II. S. 51. vergl. Emsmann Physik. Aufgaben. Leipzig 1852. S. 87.

**) Falconaria von Carolo d'Arcusia de Capre, Herrn zu Esparron de Pallieres, französisch beschrieben, jetzund übersetzt und gedruckt zu Frankfurt am Main, im Verlegung Lucae Jennis 1617. Vergl. Zachariä a. a. O. S. 163. auch Prechtl, Gilb. Ann. Bd. XXX. S. 318. Emsmann, Physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. S. 2. Aufg. 13.

derjenigen Bewegungen aufgestellt werden kann, welche der große Fittig des Vogels dem Auge noch erkennbar macht, der schwirrende Mückenflügel in seiner Wirkungsweise nicht mit Erfolg beurtheilt werden könne. Im Allgemeinen scheint es darauf hinauszukommen, daß die Biegung, welche der Vogelflügel wegen der verschiedenen Steifigkeit seines Vorder- und Hinterrandes beim Auf- und Niederschlag macht, bei den Insecten und ebenso bei der Fledermaus, bei welchen die Flügel zusammenhängende Flächen sind, mit dem ganzen Flügel geschehe. Dafür spricht sich namentlich Kummer aus. Die Wahrscheinlichkeit dieser Ansicht ergiebt sich aus einer genaueren Besichtigung der Insectenflügel, und daher möge über die Flugwerkzeuge dieser Flieger hier ein kurzer Ueberblick eine Stelle finden.

Die Flügel der Insecten sind häutige, trockene, elastische, gewöhnlich durchsichtige und an die Seiten des Rückens befestigte Stücke. Sie bestehen aus 2 auf einander gefügten und mit mehr oder minder viel Adern verschiedentlich durchzogenen Häuten, welches sämmtlich Luftröhren sind, und die entweder ein Netz oder einen einfachen Aderverlauf bilden. Nur die Schmetterlinge sind mit kleinen Schuppen besetzt. Bei einigen Insecten bleiben die Flügel gerade, oder schlagen sich auf sich selbst zurück; bei anderen sind sie fächerförmig längs gefaltet. Bald stehen sie in der Ruhe horizontal, bald dachförmig geneigt; bei mehreren kreuzen sie sich auf dem Rücken.

Die Wasserjungfern, Bienen, Wespen, Schmetterlinge ꝛc. haben 4 Flügel; andere deren nur 2. Die zweiflügeligen Insecten aus der Ordnung der Dipteren haben unterhalb der Flügel 2 kleine bewegliche Fädchen in einer Keule endigend, welche Schwingstangen heißen. Andere zweiflügelige Insecten haben gleichfalls zwei dergleichen, allein vor den Flügeln stehend, die man Vorderschwingstangen nennen kann. Ueber den Schwingstangen, deren Bedeutung noch nicht enträthselt ist, befindet sich eine kleine häutige Schuppe aus zwei an ihrem einen Rande vereinigten Schuppen bestehend und den beiden Klappen einer zweischaaligen Conchylie vergleichbar. Sie heißen die Löffelchen.

Viele Insecten, z. B. die Maikäfer, spanischen Fliegen ꝛc. haben statt der beiden Oberflügel, oder der vorderen, zwei schuppenförmige oder wenigstens dicke und mehr oder minder starke und undurchsichtige Schuppen, die sich öffnen und schließen, und unter welchen sich die Flügel in der Ruhe quer falten. Dies sind die Flügeldecken. Bei Insecten mit Flügeldecken fehlen öfter die Flügel. Bei einigen Insecten ist das Ende dieser Decke ganz häutig, wie die eigentlichen Flügel; man nennt sie Halbdecken.

So wie bei den Vögeln die Respirationsorgane dem Fliegen gemäß construirt sind, so ist es auch bei den Insecten. Sie athmen durch zwei Haupttracheen, die sich parallel in der ganzen Länge des Körpers erstrecken. Von ihren Centren gehen viele Aeste ab, welche den äußeren Oeffnungen oder Stigmen zum Eintritt der Luft dienen. Indem sich hierdurch der Körper mit Luft füllt, scheint er die zum Fluge nöthige Festigkeit zu erhalten.

Ueber die Bestrebungen, Maschinen zu construiren, mit deren Hülfe der Mensch den Vögeln gleich durch die Lüfte schweben könnte, verweisen wir auf den Art. Flugmaschine. H. E.

Flintglas, s. Glas.

Flüssigkeit (lat. fluidum, liquidum, fluiditas, liquiditas; franz. fluide, liquide, fluidité, liquidité; engl. fluid, liquid, fluidity, liquidity) bezeichnet

sowohl den Zustand des Flüssigseins der flüssigen Körper, als auch die letzteren selbst.

Ueber den Unterschied der festen und flüssigen Körper und über den der tropfbaren und ausdehnsamen Flüssigkeiten verweisen wir auf den Art. Aggregat (Bd. I. S. 127), ebenso wegen der Unterscheidung der ausdehnsamen oder expansiblen Flüssigkeiten in Dampf und Gas oder coercible und permanente Luftarten auf den Art. Dampf (Bd. II. S. 20). Insofern nun über die coerciblen Luftarten speciel der Art. Dampf handelt und über die permanenten in gleicher Weise der Art. Gas, auch die Untersuchungen über die Natur und das Wesen oder über die Ursachen des Flüssigkeitszustandes in dem Art. Materie ihre Stelle finden; so bleibt für den vorliegenden Artikel nur noch die Betrachtung der tropfbarflüssigen Körper an sich übrig.

Die wesentliche Eigenschaft eines flüssigen Körpers überhaupt besteht in der leichten Beweglichkeit seiner Theilchen nach allen Richtungen hin. Der Zusammenhang zwischen diesen Theilchen ist in der Regel so schwach, daß sie dem geringsten Versuche einer Trennung nachgeben und sich an einander verschieben lassen.

Die tropfbarflüssigen Körper im Besondern bilden sich selbst überlassen, z. B. in kleineren Quantitäten beim Fallen, Tropfen, d. h. sie nehmen sphärische oder kugelförmige Gestalt an. Wir sehen diese Tropfen sehr schön beim Quecksilber auf Glas oder Holz, ebenso beim Wasser, wenn es auf eine staubige Fläche gespritzt wird. Die sich hierauf gründende Bereitung des Bleischrotes möge nebenbei ebenfalls nicht unerwähnt bleiben. Daß diese Tropfenbildung nicht blos bei kleinen Mengen des tropfbarflüssigen Körpers stattfindet, sondern an das Quantum gar nicht gebunden ist, daß vielmehr die einzige Bedingung darin besteht, daß der tropfbarflüssige Körper sich selbst überlassen, also frei sein müsse, sehen wir an der sphärischen Gestalt der Erde und der übrigen Körper unseres Planetensystems, bei welchen diese sphärische Gestalt gerade als Beweis gilt, daß diese Körper früher in tropfbarflüssigem Zustande sich befunden haben müssen. Das Ausführliche über Tropfenbildung findet sich im Art. Tropfen.

Ist ein größeres Quantum einer tropfbaren Flüssigkeit auf eine Fläche ausgegossen, so breitet sich dieselbe aus und überzieht die Fläche mit einer Schicht von geringer Dicke. Hemmt man die Ausbreitung durch absperrende Erhöhungen, so nimmt die Flüssigkeit die Gestalt der gebildeten Vertiefung an, überhaupt die Gestalt des Gefäßes, welches als Behälter benutzt wird. Es ist dies ein wesentliches Unterscheidungszeichen der tropfbarflüssigen Körper von den ausdehnsamflüssigen, indem der Behälter von allen Seiten verschlossen sein muß, so bald von diesen ein Quantum fortgeschafft werden soll, während bei jenen die obere Seite offen bleiben kann. Die Theilchen der ausdehnsamen Flüssigkeiten werden nämlich nicht durch gegenseitige Attraction zusammengehalten, wir bemerken zwischen ihnen vielmehr eine Repulsion, in sofern sie das Bestreben äußern, sich immer weiter von einander zu entfernen, während bei tropfbaren Flüssigkeiten nicht minder als bei festen Körpern ein Gleichgewicht der Attraction und der Repulsion stattfindet.

Die Oberfläche, welche die tropfbarflüssigen Körper, falls sie sich ausbreiten, annehmen, ist in Folge der Schwere der Erdoberfläche parallel und kann daher bei nicht sehr beträchtlicher Ausdehnung als eine horizontale Ebene angesehen werden. Abweichungen hiervon bedingt die Adhäsion der Flüssigkeit zu den festen Körpern, also namentlich zu den Gefäßwänden, mit welchen dieselbe in Berührung kommt.

Hierüber, wie überhaupt über die Adhäsion fester Körper an tropfbarflüssigen und umgekehrt, desgleichen über die Adhäsion tropfbarer Flüssigkeiten an einander ist zu vergleichen der Art. Adhäsion (Bd. I. S. 112 — 116).

Würden sich die kleinsten Massentheilchen eines tropfbarflüssigen Körpers ohne den geringsten Widerstand an einander verschieben lassen, so würden wir denselben für vollkommen flüssig erklären müssen. In der Wirklichkeit erreicht indessen kein tropfbarflüssiger Körper diesen Grad der Vollkommenheit; am meisten nähert sich demselben z. B. comprimirte Schwefelwasserstoffsäure, desgleichen comprimirter Kohlenwasserstoff. Wasser ist flüssiger als Oel, dies flüssiger als Syrup, und so ist der Grad der Flüssigkeit überhaupt immmer nur ein relativer.

Die Anzahl der tropfbaren Flüssigkeiten ist sehr groß, wie schon daraus hervorgeht, daß jeder feste Körper durch hinlängliche Temperaturerhöhung, falls nur hierbei keine chemische Aenderung eintritt, und ebenso jede ausdehnsame Flüssigkeit durch hinlängliche Temperaturerniedrigung und durch vermehrten Druck tropfbarflüssig gemacht werden kann. Wenigstens ist die Anzahl der Körper, mit welchen dies gelungen ist, bereits so groß, daß man wohl berechtigt ist, diese Umwandlung in den tropfbarflüssigen Zustand als allgemein und ohne Ausnahme gültig auszusprechen, so daß, wo es noch nicht gelungen, diese Umwandlung herbeizuführen, nur die Unvollkommenheit der angewandten Mittel die Schuld tragen möchte. Unter den festen Körpern hat der Kohlenstoff allein widerstanden und unter den ausdehnsamen Flüssigkeiten gelten nur noch die atmosphärische Luft, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Stickstoffoxydgas und Kohlenoxydgas als permanent. Nehmen wir noch hinzu, daß viele Flüssigkeiten, besonders das Wasser, die Fähigkeit besitzen, viele feste, tropfbare und gasförmige Körper in sich aufzunehmen, ohne hierbei ein Volumen zu erhalten, welches der Summe der Volumina der vereinigten Körper gleich wäre, so ist klar, daß die Anzahl der tropfbaren Flüssigkeiten kaum angebbar sein möchte. Das Nähere über diese Bildungen enthalten die Art. Absorption (Bd. I. S. 18 — 36), Auflösung (Bd. I. S. 568) und Lösung.

Im Wesen der tropfbaren Flüssigkeiten ist es begründet, daß sie jeden Druck, welcher auf einen Theil ihrer Oberfläche ausgeübt wird, nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzen. Ueber die hierdurch herbeigeführten Erscheinungen, wie überhaupt über die Gleichgewichtsverhältnisse der tropfbaren Flüssigkeiten ist zu vergleichen Art. Hydrostatik, ebenso über die Verhältnisse der in Bewegung befindlichen der Art. Hydraulik.

Als etwas allen Flüssigkeiten Gemeinsames ist endlich noch zu erwähnen, daß sie durch jeden noch so geringen Druck sich in einen kleineren Raum zusammendrücken lassen, aber nach Aufhören dieses Druckes in ihr normales Volumen zurückkehren. Das Nähere hierüber enthält der Artikel Zusammendrückbarkeit. H. E.

Flugmaschine heißt eine Vorrichtung, mit deren Hülfe der Mensch gleich den Vögeln sich in die Luft erheben, darin schweben und sich fortbewegen kann. (Vergl. Art. Fliegen). Schon in den frühesten Zeiten hat sich bei den Menschen die Lust bekundet, dem Vogel seinen Flug abzulernen; die Geschichte von Dädalus und Icarus weist uns zurück sogar in die vorhistorische Zeit. Die

Erzählung von Gellius *), daß Archytas von Tarent eine fliegende Taube von Holz verfertigt habe, welche durch mechanische Kraft und einen eingeschlossenen Hauch belebt worden sei, wird gewöhnlich auch angeführt, um zu beweisen, daß bereits im Alterthume gelungene Versuche ausgeführt worden seien. Bis jetzt ist jedoch trotz der sehr erweiterten Naturerkenntniß das Problem noch nicht gelöst, abgesehen von den Luftbällen oder Aerostaten (s. Art. Luftball), so daß hier nur von einigen hierher gehörigen Versuchen berichtet werden kann. Zachariä **) ist der eifrigste Sammler dessen gewesen, was den vorliegenden Gegenstand betrifft, und ihm werden wir daher auch zunächst folgen.

Unter allen Fluggeschichten scheint Zachariä die merkwürdigste die des Johann Baptista Danti zu sein ***). Danti ließ sich zu Perugia von einem hohen Thurme herab mit einem Ruderwerke von Flügeln, die er sich nach Verhältniß der Schwere seines Körpers gemacht hatte. Er kam mit Sausen und Brausen und flog glücklich über den Marktplatz; aber da er kaum 300 Schritte geflogen war, brach ein Haupteisen am linken Flügel, und da er sich mit dem rechten allein nicht mehr halten konnte, fiel er auf ein Dach bei der Liebfrauenkirche, wobei er sich etwas beschädigte. Mehrmals soll sich Danti im Fluge auf das Wasser des Trasimenischen Sees geworfen haben.

Zachariä führt mehrere Nachrichten von verunglückten Versuchen an; beachtenswerth sind zunächst nur die von Jakob Degen, Uhrmacher in Wien ****). Er machte zwei große runde Schirme nach Art des Regenschirms, nur daß die Rundung nach der Seite hinaus in eine Spitze auslief. Das Gerippe war aus Bambusrohr, der Ueberzug aus feinem gefirnißten Papiere. Die Länge eines jeden betrug 10 Fuß 4 Zoll, die größte Breite 9 Fuß; die Oberfläche 54 Quadratfuß. In jedem dieser Flügel befanden sich 3500 papierne Klappen, an Seidenfäden befestigt, die sich nach unten öffneten. Beide befestigte er an eine Art von Joch, das er sich mit gehörigem Anhalte um den Nacken legte, durch seidene Schnüre. Die Ebene der Flügel befand sich etwa in der Höhe des Halses des Fliegenden bei aufrechter Stellung, und das Gestell war fest mit den Körper verbunden, ohne jedoch irgend eine seiner Bewegungen zu hemmen. Das Gerüst stand mit den Händen und Füßen in Verbindung, so daß er mit deren Hülfe die Flügelschläge hervorbringen konnte. Die ersten Versuche wurden in der Reitbahn zu Wien angestellt, wobei indessen Degen durch ein angebrachtes Gegengewicht seine Last — er selbst wog 119 Pfund und die Maschine 25 Pfund — um etwa die Hälfte verringerte. Durch etwa 34 Flügelschläge erhob er sich in 30 Secunden bis zu 50 Fuß Höhe. Bei den späteren im Freien angestellten Versuchen trug ein Luftball von 19 Fuß Durchmesser die Last bis 40, selbst bis 105 Klaftern; in dieser Höhe löste er sich von dem Balle und flog ganz allmälig herunter. Hierbei

*) Noctes atticae. X. 12.

**) Geschichte der Luftschwimmkunst. 1823. S. 131. ff.

***) In Bayle's Dictionnaire findet sich ein Artikel über dieselbe; ausführlich ist sie beschrieben von Ces. Crispolti in seiner Perugia Augusta, Perugia 1668.

****) Beschreibung einer neuen Flugmaschine von Jac. Degen. Wien 1808; vergl. Gilb. Ann. Bd. XXX. S. 1. und Bd. XXXI. S. 192. Zachariä a. a. O. S. 140. Eine Abbildung findet sich in: Bilderbuch für Kinder von Bertuch. Weimar 1809. Bd. VI. Nr. 45.

hob Degen sich durch Flügelschläge, wendete um und gelangte ohne Beschädigung unten an.

Zachariä macht darauf aufmerksam, daß die Natur die Flügel nirgends so gebaut habe, wie dies von Degen geschehen ist, und hält insbesondere das Durchlassen der Luft zum Fluge für unwesentlich; ebenso erklärt er sich nicht damit einverstanden, daß die Flügel gewölbt gewesen seien und keinen steifen Vorderrand gehabt haben.

Blanchard, der bekannte Luftschiffer, hatte sich schon vor 1784 mit der Anfertigung eines Flugapparates beschäftigt, legte denselben aber nach Erfindung des Luftballs bei Seite, ohne ihn benutzt zu haben. Er hatte ein Flughäuschen mit tafftenen Wänden bereitet, vier große zart gebaute Fittige daran gesetzt, die sich von dem Flieger mit Händen und Füßen bearbeiten ließen. Das ganze Gebäude konnte von zwei Männern leicht fortgetragen werden, und Blanchard versprach, sich mit demselben in die Lüfte emporzuschwingen, auch darin so schnell fortzuziehen, daß er bereits auf eine künstliche Maske gedacht hatte, die ihm bei dem heftigen Luftzuge das Athemholen sichern sollte. Blanchard erklärte *) selbst: „Reine und aufrichtige Huldigung dem unsterblichen Montgolfier! Ohne seine Hülfe, das bekenne ich, hätte das Spiel meiner Fittige mir vielleicht zu weiter nichts gedient, als ein ungelehriges Element zu peitschen, das mich hartnäckig wieder erdwärts getrieben hätte, wie den schwerfälligen Strauß, mich, der in der Wolkenbahn den Adler ausstechen zu können wähnte."

Die Erfindung der Schießbaumwolle regte wieder Ideen zur Construction von Flugmaschinen an, indem man in ihr eine zweckmäßige bewegende Kraft gefunden zu haben glaubt. Ein Vorschlag eines Officiers findet sich nebst den nöthigen Zeichnungen in der „Illustirten Zeitung" 1847. Bd. VIII. S. 75 und 76. Dies führte zu einer Reclamation in Betreff der Priorität von einem Hrn. Jul. Hanisch-Buchner aus Zürich (a. a. O. S. 170), dessen Construction mit Vorder- und Seiten-Ansicht dieselbe Zeitung in Bd. IX. S. 60 giebt. — Daß es nicht zur Ausführung gekommen ist mit diesen Vorschlägen, versteht sich wohl von selbst.

Eine romanhaft klingende, aber an Degen's Versuch erinnernde Fluggeschichte wurde aus Philadelphia berichtet **). H. E.

Flugrädchen, elektrisches. Hierunter versteht man gewöhnlich ein an den Enden nach entgegengesetzten Richtungen umgebogenes und zugespitztes Metallstäbchen, das an dem Conductor einer Elektrisirmaschine auf einer Spitze in einer horizontalen Ebene leicht drehbar ist, und während der Thätigkeit der Maschine in eine lebhafte Rotationsbewegung versetzt wird. Durch das Ein- oder Ausströmen der Elektricität aus den Spitzen werden die benachbarten Lufttheilchen gleichnamig elektrisirt, wodurch Luftströme entstehen, welche im entgegengesetzten Sinne auf die beiden umgebogenen Enden des Stäbchens wirken und dadurch eben dieses zu einer Rotation veranlassen (s. Art. Elektricität Bd. II. S. 736 ff).

---

*) Journal de Paris Fevr. 1784.

**) Pfennig-Magazin 1843. Nr. 32. S. 250 u. 251.

Fluor, fluorine. Zeichen F. Aequivalent = 19.

Das Fluor ist ein einfacher, nicht metallischer, im freien Zustande gasförmiger Körper, welcher sich in seinem chemischen Verhalten an Chlor, Brom und Jod anschließt.

Das Verfahren, mittelst Flußspath und Schwefelsäure, Glas zu ätzen, kannte schon Schwankhard in Nürnberg (1670). Doch stellte erst Scheele wässerige und kieselsäurehaltige Fluorwasserstoffsäure dar, und zeigte, daß der Rückstand schwefelsaurer Kalk sei. Gay-Lussac und Thenard erhielten 1808 reine Flußsäure, welche sie aber für eine Sauerstoffverbindung ansahen. Ampère hielt sie für eine Wasserstoffsäure, was Davy durch Versuche bestätigte. Die wichtigsten Untersuchungen der Fluorverbindungen verdanken wir Berzelius.

Das Fluor kommt in der Natur nicht sehr häufig vor: die bekannteste und am meisten verbreitete natürliche Verbindung ist der Flußspath (Fluorcalcium); außerdem findet es sich in einigen seltenen Mineralien, z. B. im Topas, Kryolith, Yttrocerit ꝛc. und in geringer Menge in vielen Silikaten, z. B. im Glimmer, Karpolith ꝛc., ferner als Fluorcalcium in den Knochen und dem Schmelz der Zähne, auch kommt es in den Stengeln der Gramineen, Equisetaceen ꝛc. vor.

Die Darstellung des Fluors ist wegen seiner Eigenschaft, fast alle Körper anzugreifen, mit Schwierigkeiten verknüpft. Davy versuchte es durch Zersetzung wasserfreien Fluorquecksilbers oder Fluorsilbers durch trocknes Chlorgas in Glasgefäßen zu erhalten; doch wurden die Bestandtheile des Glases unter Sauerstoffentwickelung zersetzt. Knox erhielt auf ähnliche Art in Flußspathgefäßen ein gelblichgrünes Gas, das Glas stark ätzte; durch galvanische Zersetzung der Fluorwasserstoffsäure in Gefäßen aus Flußspath ein farbloses Gas, das Lackmuspapier bleichte und Gold dunkelbraun färbte (erst nach 15stündiger Einwirkung). Louyet *) erhielt ebenfalls in Flußspathgefäßen durch Zersetzung von Fluorquecksilber mittelst trocknen Chlorgases ein farbloses Gas von eigenthümlichem Geruch, das Pflanzenfarben nicht bleicht, Glas nur schwach angreift, Wasser dagegen schon bei gewöhnlicher Temperatur und ohne Wirkung des Sonnenlichts zersetzt, Gold und Platin, außer im Ausscheidungsmomente nicht angreift.

Durch Behandlung fein gepulverten Flußspaths mit Schwefelsäure unter gelinder Erwärmung in Platingefäßen erhält man das Fluorwasserstoffgas, Fluorwasserstoff- oder Flußsäure = HF. Zur Bereitung dieser Verbindung kann man auch Destillirgefäße aus reinem Blei anwenden, welche nur sehr wenig davon angegriffen werden. Die concentrirte Säure (dargestellt aus 1 Theil Flußspath und 2 Th. concentrirter englischer Schwefelsäure) ist eine wasserhelle, sehr saure Flüssigkeit von 1,06 spec. Gewicht, die bei — 20° noch nicht fest wird, sehr flüchtig ist und schon bei 15° siedet. An der Luft raucht sie, indem ihr Gas sich mit den Wasserdämpfen der Luft verbindet und sich als wässerige Säure niederschlägt. Sie besitzt einen sehr stechenden Geruch, greift die Augen und Respirationsorgane an, so wie die Theile des Körpers, welche dem Dampfe der Säure ausgesetzt oder mit der wässerigen Säure benetzt werden; sie erzeugt Eiterblasen, welche später in nur langsam heilende Wunden übergehen. Mit Wasser verbindet sich die Säure, ähnlich wie die Schwefelsäure, sehr heftig und unter

*) Compt. rend. T. XXIII. u. XXIV.

bedeutender Wärmeentwickelung. Um wässerige Säure zu erhalten, leitet man die Dämpfe der Säure sofort in eiskaltes Wasser. Alle kieselsauren Verbindungen werden von der Fluorwasserstoffsäure zersetzt, indem sich der Wasserstoff der letzteren mit dem Sauerstoff der Kieselsäure zu Wasser, und das Fluor mit dem Silicium vereinigt, welches mit Fluorwasserstoff verbunden, die Kieselfluorwasserstoffsäure = $3\,HF, 2\,SiF_3$ bildet, ein gasförmiger Körper, der mit Wasser eine farblose, klare Flüssigkeit giebt. Die Basis eines kieselsauren Salzes wird durch die Flußsäure ähnlich in Fluormetall und Wasser zersetzt. Die Kieselfluorwasserstoffsäure verbindet sich mit Fluormetallen zu Kieselfluormetallen von der Formel $3\,RF, 2\,Si\,F_3$ (worin R irgend ein Metall bezeichnet). Das Verhalten der Flußsäure zur Kieselsäure ist für die analytische Chemie von Wichtigkeit, auch wird es technisch zur Aetzung des Glases benutzt (zur Erzeugung von Scalen ꝛc.). Das zu ätzende Glas wird hierzu mit einer möglichst gleichförmigen dünnen Schicht eines Körpers überzogen, welcher von der Flußsäure nicht angegriffen wird, z. B. mit Wachs oder einem Firniß aus 2 Th. Wachs, 1 Th. Mastix, ½ Th. Asphalt und ½ Th. venetianischem Terpenthin; die zu erzeugenden Striche gravirt man in diese Schicht sorgfältig ein, wodurch das Glas an diesen Stellen bloßgelegt wird, hierauf übergießt man das Ganze mit wässeriger Flußsäure oder setzt es besser den Dämpfen frisch bereiteter Säure aus. Die Einwirkung ist nach kurzer Zeit schon genügend und man entfernt nach diesem Wachs oder Firniß durch Terpentinöl und Alkohol. — Sehr verdünnte Flußsäure läßt sich in inwendig mit Wachs überzogenen Flaschen ziemlich gut lange aufbewahren.

Kieselfluor = $Si\,F_3$, ein Gas, kann man durch Destillation von grobem Glaspulver, Flußspath und Schwefelsäure für sich erhalten, wenn man es über Quecksilber auffängt. Dasselbe zersetzt sich mit Wasser in Kieselsäure und Kieselfluorwasserstoffsäure.

Die Fluormetalle, Fluorüre entstehen durch Auflösung von Metallen in Flußsäure, wobei sich Wasserstoff entwickelt, oder von Metalloxyden, wobei Wasser gebildet wird. Die Fluormetalle verbinden sich, ähnlich wie die Chloride, Jodide ꝛc. mit einander zu Doppelfluoriden.

Eine dem Silicium- oder Kieselfluor ähnliche Verbindung bildet Borsäure mit Flußspath geglüht, Fluorbor = BF_3. Dieses Gas zerlegt sich mit Wasser in Borsäure und Borfluorwasserstoffsäure = $BF_3 + FH$, wenn nur wenig Gas eingeleitet wird. — Fluor verbindet sich auch mit Schwefel, Selen und Phosphor; doch kennt man keine Verbindungen desselben mit Sauerstoff, Stickstoff und Kohle.

Louyet glaubt das Fluor nicht der Gruppe des Chlor, Brom und Jod, sondern vielmehr der Reihe des Sauerstoffs, Phosphors, Stickstoffs, Arsens und Kohlenstoffes beizählen zu müssen. H. Rt.

Fluß, s. Strom.

Flußsäure, s. Fluor.

Fluth, s. Ebbe und Fluth.

Fontaine, s. Springbrunnen.

Friction, s. Reibung.

Frischeisen, s. Eisen.

Frost, s. Kälte.

Frostmischungen, s. Kältemischungen.

Frühling, s. Jahreszeiten.

Fulgurit, s. Blitzröhre.

Funke, elektrischer, bezeichnet diejenige Lichterscheinung, welche bei der raschen Ausgleichung entgegengesetzt elektrischer Zustände in einem schlechter leitenden Medium auftritt, und dabei von einem eigenthümlichen Laute, einem Knistern, Knacken oder Knalle begleitet ist. Der Funke ist hiernach zu unterscheiden von demjenigen elektrischen Lichte, welches bei einer geräuschlosen Entladung erscheint, so namentlich an Spitzen, die auf einem positiv oder negativ elektrisirten Leiter befestigt sind (s. d. Art. Elektricität). Doch gehen in manchen Fällen beide Arten von Licht gewissermaßen in einander über.

Die Gestalt des Funkens ist verschieden. Kurze Funken erscheinen als cylinderförmige, gerade Fäden, lange, die bei größerer Entfernung zwischen zwei Leitern überspringen, mit Aesten (Zweigen) oder zickzackförmig.

Die Farbe des Funkens ist veränderlich nach der Beschaffenheit des Mediums, durch welches die Elektricität ihren Weg nimmt. Versuche hierüber sind von Grotthuß *) und Davy **) angestellt worden. Nach dem ersteren bilden die Funken in den Dämpfen des Weingeistes einen seladongrünen Farbenstrom; in Aetherdämpfen erscheint ihre Farbe grün, im Wasserstoffgase und in verdünnter atmosphärischer Luft purpurroth, in Ammoniak und Phosphorwasserstoffgase roth, in Wasserdämpfen gelb oder pommeranzenfarben, im trocknem kohlensaurem Gase und Sauerstoffe blauviolett. In verdichteter atmosphärischer Luft erschien der elektrische Funke farblos und glänzender, als in gewöhnlicher atmosphärischer Luft. Bezüglich des Glanzes schließt Grotthuß aus seinen Versuchen, daß derselbe mit der Dichtigkeit im directen und mit der Leitfähigkeit des gas- oder dampfförmigen Mediums im umgekehrten Verhältnisse stehe.

Davy gebrauchte zu seinen Versuchen eine gebogene Glasröhre A B C, die durch eine bei C angeschraubte Röhre mit einer Luftpumpe verbunden war. Nachdem die Glasröhre mit ausgekochtem Quecksilber gefüllt, dergestalt, daß bei A nicht die geringste Luftblase übrig blieb, wurde die Luft bei C ausgepumpt, so daß durch das Sinken des Quecksilbers in der Röhre B A ein luftleerer Raum A D entstand. Alsdann wurde die Röhre C durch einen Hahn fest verschlossen und von der Luftpumpe abgeschraubt. Durch Erhitzen des Quecksilbers in der Röhre C B D konnte der Raum A D über dem Quecksilber mit Quecksilberdämpfen von größerer oder geringerer Dichtigkeit erfüllt werden, während die Elektricität vermittelst eines bei A eingeschmolzenen Drahtes durch den Raum A D geleitet wurde. Das Licht der überspringenden Funken war am lebhaftesten und von schöner grüner Farbe, wenn das Quecksilber sehr erhitzt war, also die Dämpfe einen hohen Grad von Dichtigkeit besaßen. Die Intensität des Lichtes nahm mit der Temperatur ab, und bei einer Abkühlung bis 25° C. unter Null blieb kaum noch eine Spur von



*) Schweigger's Jahrb. Bd. II. S. 142.

**) Phil. Transact. 1812. p. 64.

Licht, bei völliger Entfernung aller anderen Erleuchtung, sichtbar. Wurde atmosphärische Luft in den mit Quecksilberdämpfen erfüllten Raum gelassen, so ward die Farbe des Lichtes mit der Menge der eintretenden Luft immer mehr bläulich, und endlich blau oder purpurfarben. Ueber geschmolzenem Zinn statt des Quecksilbers erschien das Licht gelblich, über erhitztem Oel roth, etwas in Purpur übergehend. Die Farbe des Lichtes ist also abhängig von den Dampftheilchen, die sich in dem Vacuum befinden, ebenso auch die Intensität des Leuchtens, indem dieses mit der Dichtigkeit der Dämpfe bedeutend abnimmt. Indessen macht Davy darauf aufmerksam, daß der noch schwache Ueberrest von Licht bei einem fast unendlich dünnem Quecksilberdampfe in tiefer Temperatur aus der Anwesenheit des letzteren allein nicht wohl erklärlich sei.

Zur Wahrnehmung des elektrischen Lichtes im luftverdünnten Raume gebraucht man gewöhnlich eine 4 bis 6 Fuß lange und mehrere Zoll weite cylindrische Glasröhre, die an den Enden mit Messingplatten verschlossen ist. Vermittelst eines Hahnes kann sie auf eine Luftpumpe geschraubt und so weit als thunlich luftleer gemacht werden. Bringt man nun das eine Ende mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine, das andere mit der Erde in leitende Verbindung, so sieht man das Innere der Röhre während der Thätigkeit der Maschine von einem schwachen Lichtstrome erfüllt. Zu demselben Behufe benutzt man auch das sogenannte elektrische Ei, ein Glasgefäß von ellipsoidischer Form, das ebenfalls an den Enden mit Metallfassungen versehen ist. In der einen befindet sich ein Hahn, und durch beide gehen Metallstäbe, die in Knöpfe endigen. Der eine Stab ist überdies noch in einer Lederbüchse verschiebbar, so daß die beiden im Innern des Gefäßes befindlichen Knöpfe, zwischen denen der Lichtstrom übergeht, einander mehr oder weniger nahe gebracht werden können.

Zu den Erscheinungen der Elektricität im luftleeren Raume rechnet man das Leuchten der Barometer im Dunkeln, wenn das Quecksilber in der Röhre durch das Vacuum bewegt und somit Elektricität durch das Reiben des Quecksilbers am Glase erregt wird.

Auch Faraday hat über das Licht des elektrischen Funkens in verschiedenen Gasen und Dämpfen Versuche angestellt, und dabei, wenn die Quantität der übergehenden Elektricität klein war, dunkle Stellen bemerkt. Die Farbe erschien in Kohlensäure grünlich, in Stickstoffgas blau oder purpur, in Wasserstoff hochroth, in Sauerstoff weiß, in Salzsäure ebenfalls weiß, aber glänzender und ohne dunkle Stellen. Der Schall war im Stickstoffgase stärker als in der Luft, im Wasserstoff schwächer.

In den längeren elektrischen Funken lassen sich häufig zwei ungleich gefärbte Theile unterscheiden, eine Wahrnehmung, die man schon seit langem gemacht hat. Pfaff *) erschien bei längeren Funken, die zwischen dem positiven Conductor und einer gewöhnlichen Auffangekugel überschlagen, die gegen den positiven Conductor gekehrte größere Hälfte des Funkens mehr purpurfarben oder röthlich violet, die nach der Auffangekugel oder negativen Seite hin gekehrte Hälfte mehr blau. Andere Beobachter haben davon abweichende Wahrnehmungen gemacht, was wohl im Allgemeinen nicht zu verwundern ist, wenn man berücksichtiget, daß die Farbe

---

*) Gehler, N. A. Bd. IV. S. 533.

des Funkens sowohl von der Natur der Metalle, zwischen denen er überspringt, als auch von der Beschaffenheit der Luft, je nachdem dieselbe mehr oder weniger Wasserdämpfe beigemengt enthält, abhängig ist. Nicht selten beobachtet man auch in der Mitte oder näher dem einen oder anderen Ende des Funkens eine violette Stelle, namentlich dann, wenn das Licht desselben weiß erscheint.

Untersuchungen über das Spectrum (s. Farbe) des elektrischen Funkens sind von Wheatstone*) angestellt worden. Das Licht des Funkens wurde, wie bei den Versuchen von Fraunhofer, mit Hülfe eines Fernrohres durch ein reines Prisma betrachtet. Den Funken lieferte theils ein magnetoelektrischer Apparat, theils eine Volta'sche Säule, indem das eine Ende des Drahtes in Quecksilber oder eine andere Flüssigktit tauchte, während das andere Ende der Oberfläche der Flüssigkeit sehr nahe gebracht wurde. Das Spectrum des aus Quecksilber gezogenen magnetoelektrischen Funkens besteht aus sieben bestimmten Strahlen, welche von einander durch dunkle Zwischenräume getrennt sind. Aehnliche Resultate gaben Funken, die auf gleiche Weise aus Zink, Kadmium, Zinn, Wismuth und Blei im geschmolzenen Zustande gezogen wurden. Die Anzahl, Lage und Farbe der Linien waren aber bei jedem Metalle anders, so daß man dadurch die Metalle leicht von einander unterscheiden konnte. Dieselben Erscheinungen zeigte der Funken einer Volta'schen Säule, wenn derselbe aus diesen Metallen im flüssigen Zustande gezogen wurde. Das jedem Metalle entsprechende Spectrum erlitt keine Veränderung, wenn der elektrische Funken im leeren Raume, in der Luft, im Sauerstoffe oder in der Kohlensäure zum Vorschein kam, woraus folgt, daß das Licht hier nicht aus einer Verbrennung des Metalles hervorgeht. Nach Fraunhofer zeigt das Spectrum des gewöhnlichen elektrischen Funkens viele helle Querlinien. Diese letzteren fand nun Wheatstone je nach der Natur des angewandten Metalles an Zahl und Lage verschieden. Schlägt der Funke zwischen zwei Kugeln von verschiedenen Metallen über, so lassen sich die Linien beider Metalle gleichzeitig erkennen. Der Schluß, den Wheatstone aus seinen Versuchen zieht, ist, daß das elektrische Licht aus einer Verflüchtigung und Glühung, nicht aber Verbrennung der ponderabeln Theilchen des Leiters entstehe. Daß der elektrische Funken von materiellen Theilchen der Leiter, zwischen denen er überspringt, begleitet ist, haben auch Versuche von Fusinieri dargethan, und ebenso findet auch bei der galvanischen Elektricität ein Ueberführen von Theilchen statt, namentlich wenn der Strom zwischen Kohlenspitzen übergeht (s. Galvanismus). Nach Biot und Anderen wird dagegen das elektrische Licht aus einen Erglühen der Lufttheilchen hergeleitet, welche beim Ueberspringen der Elektricität eine Compression erleiden, wobei man sich auf die Erfahrung stützt, daß die Farbe des Lichtes in verschiedenen Gasen und Dämpfen verschieden, und daß der Glanz desselben in verdichteter Luft größer als in verdünnter ist. Hiergegen läßt sich aber einwenden, daß die Dichtigkeit oder Intensität des elektrischen Lichtes in sehr verdünnten Dämpfen oder Gasen bei niedriger Temperatur immer noch zu groß ist im Verhältniß zur Dichtigkeit dieser Medien. Auch möchte bei einer geräuschlosen Entladung, wie bei der Erscheinung des sogenannten Spitzenlichtes eben nicht die Rede sein können von einer Compression und einem Erglühen der

*) Phil. Mag. Ser. III. Vol. VII. p. 299. Poggend. Ann. Bd. XXXVI. S. 148.

Lufttheilchen. Vielmehr machen es die Wahrnehmungen Neeff's und nach ihm Anderer wahrscheinlich, daß das reine elektrische Licht etwas wärmefreies und mehr der Elektricität selbst angehöriges sei, das letztere aber vielleicht nur in sofern, als das elektrische Fluidum da, wo es hervorbricht, die Theilchen des umgebenden Lichtäthers in eine schwingende Bewegung versetzt. Damit ist aber nicht geläugnet, sondern sehr wohl verträglich, daß die Farbe des Lichts sowohl von der Natur der Leiter, zwischen denen das Fluidum übergeht, als auch von der Beschaffenheit des schlechter leitenden Mediums abhängig ist. Von den Versuchen Neeff's ist einiges im Art. Elektricität angeführt, und anderes darauf Bezügliche wird sich im Art. Galvanismus finden.

Verschiedenheiten in der Farbe des elektrischen Funkens bemerkt man auch, wenn derselbe über die Oberfläche verschiedenartiger fester Körper hinstreicht.

Die Erscheinung des elektrischen Funkens läßt sich nicht allein in einem gasförmigen Medium, sondern auch vollständig in tropfbaren Flüssigkeiten, wie in Wasser, Oel &c. wahrnehmen. Man kann hierzu eine Glasröhre, etwa 6 Zoll lang und 1/2 Zoll weit nehmen, die an ihren Enden, nachdem sie mit der betreffenden Flüssigkeit gefüllt ist, vermittelst Korkstöpseln verschlossen wird. Durch die letzteren steckt man Drähte, welche in der Röhre bis zu einem sehr geringen Abstande von einander genähert werden. Setzt man dann den einen Draht mit der äußeren Belegung einer geladenen Flasche, und den anderen durch einen gewöhnlichen Auslader mit dem Kopfe der Flasche in Verbindung, so sieht man zwischen beiden Drähten einen lebhaften Funken innerhalb der Röhre überspringen. Wesentlich ist hierbei, daß die Drähte im Innern der Röhre nahe bei einander stehen; sind sie durch eine Schicht der Flüssigkeit von mehreren Zollen getrennt, so findet eine geräuschlose Entladung ohne Funkenerscheinung statt. Ist aber die Leidner Flasche zu groß und stark geladen, so kann die Glasröhre leicht durch eine Explosion zersprengt werden.

Um die Länge der elektrischen Funken zu messen, gebraucht man sogenannte Funkenmesser, die im Wesentlichen aus zwei Kugeln bestehen, die an einem mit einer Scale versehenen Stiele befestigt sind. Die eine Kugel ist mit dem Stiele verschiebbar und kann dadurch der anderen nach Belieben genähert werden. Zur feineren Messung dient ein Mikrometer.

Was die Dauer des elektrischen Funkens betrifft, so hat Wheatstone gezeigt, daß dieselbe außerordentlich kurz ist (s. Elektricität). Um zu entscheiden, ob der beim Unterbrechen eines elektrischen Stromes entstehende Funken im Moment der Unterbrechung oder eine meßbare Zeit darnach erscheint, benutzte Dove*) die Saxton'sche magnetelektrische Maschine, bei welcher der Strom unterbrochen wird, wenn die schleifende Feder, bei einer bestimmten Stellung des Ankers, das Metall verläßt. Diese Stellung müßte der Anker haben, wofern der Funke im Moment der Unterbrechung erschiene. Dagegen muß seine Stellung einem späteren Stadium der Rotation angehören, falls der Funke später erscheint. Der Unterschied beider Stellungen wächst aber mit der Schnelligkeit der Rotation. Als nun die Maschine im Dunkeln mehr oder weniger rasch gedreht wurde, schien der Anker unter Beleuchtung des Funkens, vollkommen still zu stehen, und dies

*) Poggend. Ann. Bd. LXI. S. 274.

fand selbst dann statt, wenn ein mit einem Fadenkreuze versehenes Fernrohr auf eine Marke des Ankers eingestellt wurde. Daraus folgt dann, daß keine durch dieses Mittel meßbare Zeit zwischen der Unterbrechung des Stromes und dem Entstehen des Funkens vergeht.

Die Erscheinung des elektrischen Funkens, so rasch kommend und wieder verschwindend, ist nun keineswegs geeignet zur Entscheidung der Frage, ob die Lichterscheinung an dem einen oder dem anderen der beiden Leiter, zwischen denen der Funke überspringt, ihren Anfang nehme, oder ob dieselbe etwa von beiden Seiten her zugleich sich entwickele. Das letztere behaupten die Anhänger der dualistischen oder Symmer'schen Hypothese, nach welcher zwei entgegengesetzte elektrische Fluida existiren sollen. Es ist oben bereits hervorgehoben, daß in längeren elektrischen Funken, die zwischen zwei entfernter stehenden Leitern überspringen, sich zwei ungleichartige Hälften unterscheiden lassen. Diese Funken erscheinen gegen die Mitte hin schmäler und von mehr violetter Farbe, und mitunter auch ganz unterbrochen. Man erhält sie, wenn man dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine die mit der Erde in Verbindung stehende Auffangkugel bis auf eine gewisse Entfernung nahe bringt. Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch unter sonst gleichen Umständen beim negativ elektrisirten Conductor des Reibzeuges, nur mit dem Unterschiede, daß dann die Funken kürzer sind. Hiernach hat es also den Anschein, als ob zwei Funken vorhanden wären, von denen der eine auf der positiven, der andere auf der negativen Seite zur Entwickelung gelange. Und dies scheint in der That stattfinden zu müssen, selbst dann, wenn man nur Ein elektrisches Fluidum annimmt. Es sei beispielsweise ein isolirter Leiter auf seiner Oberfläche mit Elektricität beladen, während in einer gewissen Entfernung ein zweiter nicht isolirter aufgestellt ist. Dann wird die auf der Oberfläche jenes Leiters angehäufte Elektricität, vermöge der Repulsion zwischen ihren Elementen, einen bestimmten Druck nach dem anderen Leiter hin ausüben; allein dieser Druck pflanzt sich nicht unmittelbar fort, sondern seine Thätigkeit ist zunächst gerichtet gegen diejenige Elektricität, welche im Gleichgewichte mit sich selbst um die Molecüle der dazwischen befindlichen Luft vorhanden ist (s. Elektricität). Die elektrischen Sphären der Luft werden in Folge des Druckes, der von dem ersten Leiter ausgeht, nach der entgegengesetzten Seite, d. h. nach dem zweiten Leiter hingedrängt, so daß dadurch die zwischen beiden Leitern liegende Luft eine elektrische Ladung empfängt. Und wenn nun die Entladung erfolgt, so bricht nicht allein aus dem ersten Leiter, sondern auch aus dem gasförmigen Medium ein Funke hervor. Wo eine solche Ladung des schlechter leitenden Mediums, wie im vorigen Falle nicht stattfindet, da zeigt sich das elektrische Licht, nach Neeff's Versuchen, unter geeigneten Umständen stets auf der negativen Seite. Nun ist im Artikel Elektricität darauf hingewiesen, daß unter Voraussetzung Eines elektrischen Funkens der gewöhnlich durch: — bezeichnete elektrische Zustand eigentlich als derjenige zu betrachten sei, worin ein Körper auf seiner Oberfläche mit Elektricität beladen ist, während der sogenannte positive elektrische Zustand einen solchen bezeichne, worin ein Körper weniger Elektricität als in seinem gewöhnlichen Zustande enthält. Steht also die mit der Erde communicirende Auffangkugel dem positiven Conductor gegenüber, so wird sich nach diesem die Elektricität der Luft und der Kugel hindrängen, und zwar in dem Maße, in welchem der Conductor seiner eigenen Elektricität beraubt ist. Bei der Entladung entstehen dann, wie oben erläutert, zwei Funken.

Es bietet sich hier Gelegenheit, nochmals einen Blick auf die Lichtenberg'schen Figuren zu werfen, deren Darstellung schon im Art. Elektricität gegeben ist.

Wenn man einer glatten Harzfläche an einer bestimmten Stelle Elektricität plötzlich mittheilt (also jene negativ im gewöhnlichen Sinne elektrisirt), so muß die letztere, vermöge der zwischen ihren Elementen bestehenden Repulsion, sich weiter ausbreiten, was aber, wegen der isolirenden Beschaffenheit der Harzplatte nur so geschieht, daß sich zunächst um die vom Funken getroffene Stelle ein Ring verdichteter Elektricität erzeugt, indem die Abstoßung zwischen den elektrischen Elementen allseitig von Innen nach Außen wirkt. Um den so entstandenen Ring kann sich in einem gewissen Abstande ein zweiter Ring rc., auf Grund derselben Repulsion, bilden, so daß also die Elektricität sich gewissermaßen wellenartig von der getroffenen Stelle über die Harzfläche verbreitet. Bei dieser Ausbreitung ist aber, abgesehen von sonstigen Hindernissen, ein Widerstand zu überwinden, der aus der Rückwirkung der elektrischen Sphären entspringt, die mit sich selbst und der Umgebung im Gleichgewichte, um die Harztheilchen vorhanden waren. Wird dagegen die Harzfläche an einer bestimmten Stelle positiv elektrisirt, d. h. dieser Stelle plötzlich Elektricität entzogen, so dringt das der Platte eigenthümliche Elektricum aus der Umgebung in radialen Richtungen herbei, ohne jenen Widerstand in gleicher Weise zu finden, weshalb sich dann in diesem Falle die Störung des elektrischen Gleichgewichtes auf einen größeren Raum der Harzfläche erstrecken wird, und hierin mag es liegen, daß die sogenannte positive Figur unter sonst gleichen Umständen größer ist als die negative. Gleichwohl können die elektrischen Elemente des Harzes, während sie nach den ihrer Elektricität beraubten Stellen dringen, mit einander in einen Conflict gerathen, der die Form der positiven Figur wesentlich bedingt.

Die Verhältnisse werden sich anders gestalten, wenn man eine ebene Metallplatte (oder auch ein Pettschaft, einen Stempel von Metall) auf eine glatte Harzfläche legt, und nun die erstere, wie bei Erzeugung der sogenannten Staubbilder (s. Figuren, elektrische) dergestalt elektrisirt, daß keine zerreißende Entladung auf das Harz erfolgen kann. Diese Bilder entstehen in ihrer reinsten Form durch Vertheilungselektricität, indem das elektrisirte Metall auf der Harzfläche, so weit es dieselbe bedeckt, den entgegengesetzten elektrischen Zustand hervorruft. Ist dasselbe positiv elektrisirt, d. h. enthält es weniger E als im gewöhnlichen Zustande, so dehnt sich das Elektricum der von ihm bedeckten Harzfläche zu ihm hin, so daß diese entgegengesetzt, nämlich negativ elektrisch wird. Wenn dagegen dem Metalle Elektricität mitgetheilt wird, so werden die elektrischen Sphären der darunter befindlichen Harzstellen nach der entgegengesetzten Seite zurückgedrängt, und die letzteren dadurch positiv elektrisirt. Je reiner dieser Vertheilungsproceß vor sich geht, desto vollkommener tritt das Bild der Metallplatte beim nochmaligen Bestäuben der durch Vertheilung elektrisirten Harzstellen hervor. Die Bedingungen zur Entstehung der Lichtenberg'schen Figuren sind dann nicht gegeben, welche eben erfordern, daß der Harzfläche irgend wo plötzlich, durch eine zerreißende Entladung, Elektricität mitgetheilt oder entzogen wird. Diese Figuren sind nun allerdings keine Eigenthümlichkeiten zweier Elektricitätsarten, sondern es ist ein und dasselbe Elektricum, welches dieselben durch seine Bewegung, freilich unter verschiedenen Umständen erzeugt.

Rieß *) geht bei der Erklärung der Lichtenberg'schen Figuren, die er im Gegensatz zu den durch Vertheilung (Influenz) hervorgebrachten Staubbildern, Staubfiguren nennt, von einem anderen Princip aus, das übrigens, falls man den Ausdruck: positive und negative Elektricität auf entgegengesetzte elektrische Zustände bezieht, auch sehr wohl im Sinne der Franklin'schen Ansicht gedeutet werden kann. Die Erklärung von Rieß gilt jedoch hauptsächlich der positiven Figur, während die negative auch nach ihr (wenigstens im Wesentlichen) die oben angegebene Deutung findet. Zunächst wird nun darauf aufmerksam gemacht, daß eine discontinuirliche elektrische Entladung, wie sie bei Erzeugung der Lichtenberg'schen Figuren stattfindet, das Medium auf dem Wege der Entladung zusammendrücke, zerreiße und daß Theile desselben mit Heftigkeit nach allen Seiten umhergeschleudert würden. „Bei der Entladung zwischen einer Metallspitze und einer isolirenden Fläche lehren die Hauchfiguren **), daß die fremde Schicht, welche die Fläche deckt, an vielen Stellen aufgerissen und entfernt wird; es werden daher Theile dieser Schicht mit Luft gemischt bei der Entladung gegen die Fläche geworfen. Nehmen wir nun an, daß diese Schicht zum Theil aus condensirtem Wassergase bestehe, so folgt, daß bei der Bildung der Staubfiguren feuchte Luft gegen die isolirende Fläche getrieben wird." Alsdann wird auf Versuche von Faraday hingewiesen, nach welchen feuchte Luft eben so wie feuchter Wasserdampf Körper der verschiedensten Art, wenn sie dieselben in einem Strome treffen oder bestreichen, negativ elektrisch machen. „Unter der obigen Annahme wird demnach jede Platte aus beliebigem Stoffe dadurch, daß eine discontinuirliche elektrische Entladung sie trifft, negativ elektrisch, und die von der Entladung übrig bleibende Elektricität hat sich auf einer isolirenden Fläche zu verbreiten, die zugleich negativ elektrisch gemacht wird. Nothwendieg wird die Verbreitung und davon abhängige Anordnung der überschüssigen Elektricität eine andere sein, wenn diese Elektricität positiver, als wenn sie negativer Art ist; sie wird sich im ersten Falle leichter und weiter verbreiten, als im letzten. Abhängig von dieser verschiedenen Ausbreitung der Elektricitäten ist die Formverschiedenheit beider Figuren; die zusammengedrückte abgerundete Form der negativen Staubfigur ist für sich klar, während die strahlige Form der größeren positiven Figur die Beachtung erfordert, daß bei ihr die secundär auf der Platte erregte Elektricität mit der sich darauf verbreitenden ungleichartig ist und von derselben neutralisirt wird."

Wenn der elektrische Funke durch einen Nichtleiter, z. B. durch ein Kartenblatt oder eine dünne Glasplatte, hindurchschlägt, so erzeugt er ein feines Loch, das auf beiden Seiten aufgeworfene Ränder zeigt. Zur Anstellung dieses Versuches benutzt man gewöhnlich den allgemeinen oder Henley'schen Auslader (s. Bd. I. S. 642). Wir wollen annehmen, ein Kartenblatt befinde sich gerade zwischen den Spitzen zweier Drähte, von denen der eine mit der positiven; der andere mit dem negativen Beleg einer Leidner Flasche in Verbindung steht. Ist nun an der Spitze des negativen Drahtes Elektricität angehäuft, so wird diese die elektrischen Sphären des Nichtleiters nach der anderen Seite hin drängen, während dieselben sich hier gleichfalls dem positiven Drahte zuwenden. Dabei erleiden

*) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 38—44.

**) A. a. O. S. 15 ff.; vergl. d. Art. Figuren, elektrische.

diese Sphären, welche im Zustande des Gleichgewichtes um die Molecüle des Nichtleiters vorhanden waren, eine Veränderung ihrer Form, indem sie gewissermaßen die Gestalt eines Kegels annehmen, dessen Spitze nach der negativen Seite hin gelegen ist. Im Moment der Entladung tritt nun auf der Seite des positiven Drahtes so viel Elektricität aus dem Nichtleiter hervor, als von der anderen Seite her in denselben eindringt, und dies ist auch der Augenblick, wo die elektrischen Elemente wieder in die anfängliche Gleichgewichtslage um die Molecüle des Nichtleiters oder, was dasselbe, in die Form von Sphären zurückzukehren streben. Hierbei entsteht aber nothwendig eine Rückwirkung, welche der Richtung des elektrischen Druckes (von der negativen Seite her) entgegengesetzt ist. Daher aufgeworfene Ränder auf beiden Seiten des Loches. Befindet sich das Kartenblatt zwischen den beiden Drahtspitzen dergestalt, daß sie die beiden Flächen desselben in einem Abstande von etwa 1 Zoll berühren, so wird das Blatt, wie Lullin zuerst gezeigt hat, an der negativen Spitze durchbohrt. Die hier angehäufte Elektricit pflanzt nämlich in diesem Falle ihren Druck seitwärts (auf dem Raume zwischen beiden Drahtenden) nach der positiven Spitze hin fort, während auf der anderen Seite das Elektricum des Nichtleiters natürlich in ähnlicher Weise nach der eben genannten Spitze hindrängt. Die jenen Druck bewirkende Elektricität hat aber, in Folge des Luftwiderstandes, ihre größte Spannung in der Nähe der negativen Spitze selbst, und wird also auch hier in das Blatt eindringen. Wird dagegen die Luft gehörig verdünnt, so gewinnt die seitliche Fortpflanzung des der positiven Spitze zugewandten elektrischen Druckes größere Energie, und die Durchbohrungsstelle rückt dann, nach Tremery's Versuchen, immer mehr nach dieser Spitze hin.

Rieß *) benutzt seine oben gegebene Erklärung der Lichtenberg'schen Figuren auch zur Erklärung des eben dargestellten Lullin'schen Versuches, indem er dabei noch die von ihm festgestellte Thatsache berücksichtigt, daß jede Entladung der Leidner Flasche aus einer großen Menge von Partialentladungen besteht, die in kurzer Zeit auf einander folgen. Man nehme nun an, daß in diesem Versuche die ersten Partialentladungen an beiden Spitzen stattfinden und durch ihre mechanische Wirkung die Flächen der Karte in der Nähe der Spitzen negativ elektrisch machen. Dann werden die nächsten Entladungen von der Spitze aus, welche positive Elektricität abgiebt, sich immer weiter auf der Kartenfläche gegen die negative Spitze hin verbreiten können, während an dieser die Entladungen auf einen kleinen Raum beschränkt bleiben. Nach Verdünnung der Luft geschehen die Entladungen nicht mehr an der Oberfläche der Karte, sondern über derselben, die Bedingung zur negativen Elektrisirung der Kartenflächen fällt fort und die Entladungen können von beiden Spitzen aus gleichmäßig fortgehen, so daß sie auf den entgegengesetzten Flächen eine nahe gleiche Ausdehnung erhalten.

Ueber sonstige Wirkungen des elektrischen Funkens oder vielmehr der elektrischen Entladung s. d. Art. Flasche und Schlag, elektrischer.

Funkeln der Firsterne, s. Firsterne und Interferenz des Lichts.

Funkenmesser, s. Funke, elektrischer.

---

*) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 43.

Fuselöle. Fuselöle nennt man im Allgemeinen diejenigen ölartigen Producte, welche bei der weingeistigen Gährung gleichzeitig neben Alkohol gebildet werden und mit diesem, namentlich gegen das Ende der Destillation hin übergehen. Solche Oele kennt man in den Gährungsproducten des Weins, des Getreides und der Kartoffeln; sie sind aber je nach dem Material verschieden und man bezeichnet insbesondere das Oel des Kartoffelbranntweins mit Fuselöl. Das rohe Fuselöl enthält gewöhnlich noch wässerigen Alkohol, kleine Mengen von Valeriansäure oder Caprinsäure, bisweilen auch Butyl- und Propylalkohol, und als Hauptbestandtheil Amylalkohol, auch Amylgeist und mit Beziehung auf seine Constitution Amyloxydhydrat genannt. Von den genannten Beimengungen reinigt man den Amylalkohol durch Waschen mit Wasser und sehr verdünnter Kalilauge und durch Destillation, wobei man das bei 132° Uebergehende, den reinen Amylalkohol, für sich auffängt. Das Amyloxydhydrat ist eine farblose, ölartige Flüssigkeit von unangenehmem, zum Husten reizendem, erstickendem Geruch und brennendem Geschmack, löst sich wenig im Wasser, dem es indeß seinen unangenehmen Geruch mittheilt, in allen Verhältnissen in Alkohol und Aether, ist entzündlich und brennt mit blauer Flamme. Es siedet bei 132°, hat bei 15° 0,818 spec. Gewicht und die Dichte seines Dampfes ist nach Cahours und Dumas 3,147.

Der Amylalkohol gehört seinen Eigenschaften und seiner Zusammensetzung nach in die Reihe der Alkohole; seine chemische Natur wurde zuerst von Cahours ermittelt. Er hat die Formel $C_{10}\,H_{12}\,O_2$ oder $C_{10}\,H_{11}\,O, HO$. Man betrachtet ihn als das Oxydhydrat eines Kohlenwasserstoffs, des Radikals Amyl $= C_{10}\,H_{11}$, welches allerdings nicht isolirt dargestellt ist, das aber wie ein Radikal mit Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Sauerstoff &c. Verbindungen eingeht, welche die Zusammensetzung $C_{10}\,H_{11}$ (X) haben. Das Amyloxyd, $C_{10}\,H_{11}\,O$, erhalten durch Behandlung des Amylchlorürs $C_{10}\,H_{11}\,Cl$ mit alkoholischer Kalilösung, ist eine farblose angenehm ätherartig riechende Flüssigkeit, die bei 110° siedet. Es verbindet sich mit Säuren zu wirklichen Salzen, deren einige namentlich mit einigen organischen Säuren sehr angenehm nach Früchten riechende Flüssigkeiten (Fruchtessenzen) bilden. Mit starken Säuren, wie Schwefelsäure, Phosphorsäure &c. giebt es den Aethersäuren entsprechende Verbindungen, die Amylschwefelsäure &c. Das Amyloxydhydrat geht fast genau unter denselben Bedingungen, unter welchen sich Alkohol in Essigsäure verwandelt, in Valeriansäure über:

$$\underbrace{C_{10}\,H_{11}\,O, HO}_{\text{Amyloxydhydrat}} + 4\,O = \underbrace{HO, C_{10}\,H_9\,O_3}_{\text{Valeriansäure}} + 2\,H.$$

Es oxydirt sich besonders leicht durch Berührung reinen Fuselöls mit Platinschwamm bei Zutritt von Luft, ferner durch Erhitzen desselben mit Kalikalk (in Kalilauge gelöschter Kalk) bei 230°, wobei sich Wasserstoff entwickelt, und durch Destillation eines Gemenges von Fuselöl, saurem chromsaurem Kali und Schwefelsäure.

Durch Einwirkung von Schwefelsäure, Phosphorsäure oder Chlorzink entsteht ähnlich wie aus Alkohol das Elayl $C_4\,H_4$, durch Austritt von 2 HO das Amylen $C_{10}\,H_{10}$, eine bei 39° siedende Flüssigkeit.

Das Amyloxydhydrat ist wie der Alkohol ein Gährungsproduct des Stärkemehls oder des Traubenzuckers, wahrscheinlich aber durch die Wirkung eines eigenthümlichen Ferments. H. Rt.

Fuß, f. Maaß.

Gährung. Viele organische Substanzen, welche für sich in reinem Zustande der Fäulniß (f. d. Art.) nicht fähig sind (z. B. Stärke, Zucker 2c.) werden in ihrer Zusammensetzung geändert und zersetzt, wenn sie mit faulenden Stoffen in Berührung sind; ihre Fähigkeit, unter dieser Bedingung sich zu zersetzen, heißt Gährungsfähigkeit, der Zersetzungsproceß Gährung, der in Zersetzung begriffene, oder faulende Körper, Ferment. Jeder fäulnißfähige Körper, also vorzugsweise die Proteïnsubstanzen, (f. d. Art. Eiweißstoff) wird im Zustande der Fäulniß zu Ferment, d. h. er erhält die Fähigkeit, einen der Gährung fähigen Stoffe in Gährung zu versetzen und behält die Wirkung so lange, bis er selbst zersetzt oder sein Zustand der Fäulniß beendet ist. Alle Fermente sind stickstoffhaltig. Ein und dasselbe Ferment ist nicht im Stande, alle gährungsfähigen Körper in Gährung zu versetzen; vielmehr entspricht im Allgemeinen jedem der letzteren ein besonderes Ferment, während dieses in verschiedenen Stadien der Zersetzung die Eigenschaften mehrerer Fermente annimmt. Als nothwendige Bedingungen zur Gährung gelten ferner die Gegenwart von Wasser und ein Temperaturgrad, der sich weder dem Frost- noch weniger dem Siedepunkte sehr nähern darf. Die Erfahrung lehrt endlich, daß die fäulnißwidrigen, die sogenannten antiseptischen Mittel die Gährung hindern oder aufheben (f. Art. Fäulniß S. 4).

Nach den Producten, welche durch Gährung gebildet werden, unterscheidet man: Weingährung, Milchsäure-, Buttersäure-, Essigsäuregährung 2c.

Die Weingährung besteht in der Zersetzung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure unter Vermittelung der Hefe als Ferment. Nach den bisherigen Erfahrungen ist nur der Trauben-, Schleim- und Fruchtzucker der Alkoholgährung fähig, der Rohr- und Milchzucker, so wie das Stärkemehl erhalten die Fähigkeit zu gähren erst nach vorheriger Verwandlung in Traubenzucker. 1 Atom Traubenzucker zerfällt durch die Gährung auf folgende Art:

$$\left.\begin{array}{l}\text{1 Atom Traubenzucker}\\ \quad C_{12}H_{12}O_{12}\end{array}\right\} = \begin{array}{l}\text{4 Atome Kohlensäure } (CO_2) = C_4O_8\\ \text{2 \ \ » \ \ Alkohol } (C_4H_6O_2) = \underline{C_8H_{12}O_4.}\\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad C_{12}H_{12}O_{12}.\end{array}$$

Das Ferment, die Hefe, bildet sich bei der Gährung aus den Proteïnkörpern, z. B. Kleber, Eiweiß, Thierschleim 2c., welche unter dem Einflusse des Sauerstoffs der Luft und der Wärme in Zersetzung übergehen; sie erscheint während des Processes theils auf der Oberfläche der Flüssigkeit, theils setzt sie sich daraus ab. Im feuchten Zustande ist sie hell graugelb, schmierig, getrocknet hornartig, unlöslich in Wasser, Alkohol und Aether; fault leicht an der Luft und entwickelt dann deutlich den Geruch nach altem Käse. Nach den übereinstimmenden

Untersuchungen von Cagniard Latour *), Quevenne **), Schwann***), Kützing ****), Mitscherlich *****) ist die Hefe eine Pflanze der niedrigsten Organisationsstufe, welche aus einfachen, höchstens 0,01 Millim. großen Zellen besteht, sich selbstständig ernährt und fortpflanzt. Es scheint zwei Arten dieses Pflänzchens zu geben, das eine, welches in der Oberhefe, das andere, welches in der sogenannten Unterhefe, die nur zwischen 0 und + 7° gut gedeiht, gefunden wird; die erstere bildet nur Arborescenzen oder zusammenhängende Haufen von Zellen, letztere dagegen wächst in isolirten Zellen und besteht aus lauter einzelnen kernhaltigen Kügelchen von verschiedener Größe. Ohne Zucker entstehen keine Hefezellen. Vollständig zerrieben ist sie unfähig Zucker in die weinige Gährung zu versetzen, dagegen bewirkt sie dann in der Zuckerlösung Milchsäuregährung; eine Abkochung von Hefe erregt in Zuckerlösung schleimige Gährung. Ausgewaschen verliert die Hefe die Gährung erregende Kraft auf einige Zeit, eben so, wenn sie getrocknet ist. Alkohol, Schwefel 2c. heben ihre Gährungskraft gänzlich auf. Die Zusammensetzung einer vollständig ausgewaschenen Hefe des Weißbiers fand Mitscherlich:

Kohlenstoff . . .	47,0
Wasserstoff . . .	6,6
Stickstoff . . .	10,0
Schwefel . . .	0,6
Sauerstoff . . .	35,8.

Sie enthält außerdem etwas Phosphor und Aschenbestandtheile.

Das Wasser muß bei der weinigen Gährung in bestimmtem Verhältniß zugegen sein; zu concentrirte Zuckerlösungen hören bald auf zu gähren, zu verdünnte verlangsamen den Prozeß und die Gährung geht leicht in die saure über.

Die zu dieser Gährung günstigsten Temperaturen sind zwischen 15° und 20°. Der Luftzutritt ist bei schon vorhandener Hefe nicht erforderlich, übrigens aber zur Einleitung der Gährung durch beginnendes Zersetzen der Proteinkörper anfangs nothwendig.

Die Zersetzung erfolgt unter Entwickelung von Kohlensäurebläschen, Trübung der Flüssigkeit und Erhöhung der Temperatur; nach beendigter Zersetzung wird die Flüssigkeit klar, die Hefe setzt sich zu Boden, und statt des Zuckers findet man Alkohol, außerdem etwas Ammoniak 2c. Die Zerlegung geht nur in unmittelbarer Berührung der Zuckerlösung mit den Hefentheilchen vor sich; sie wird durch Zusatz geringer Mengen organischer Säuren wesentlich befördert.

Neben dem Weingeist bilden sich meist noch kleine Mengen andere Alkohole und von gewissen Säuren, deren Entstehung dadurch erklärt werden kann, daß das Ferment durch Zersetzung in ein anderes Ferment übergegangen ist, welches dann natürlich andere Zersetzungsproducte bedingt; solche Nebenproducte sind die Fuselöle (s. d. Art.), Mannit, Milchsäure 2c.

---

*) Poggend. Ann. Bd. XLI. S. 193.
**) Erdm. Journ. Bd. XXVII. S. 589.
***) Poggend. Ann. Bd. XLI. S. 187.
****) Erdm. Journ. Bd. XI. S. 385.
*****) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 224 und Lehrbuch 4. Aufl. S. 372.

Der Proceß der weinigen Gährung hat bis jetzt noch keine vollständige Erklärung gefunden, obgleich derselbe unter allen Gährungsprocessen am genauesten studirt ist. Von dieser Gährung ausgehend haben viele Naturforscher alle Arten sogenannter Selbstzersetzung organischer Substanzen für eine Folge der Entwickelung organischer Wesen angesehen, und zwar die Gährung als bedingt durch Bildung pflanzlicher Gebilde, die Fäulniß dagegen durch die mikroskopischer Thiere. Liebig jedoch betrachtet die Alkoholgährung als einen einzelnen Fall unter den Gährungsprocessen, von denen sie sich, in sofern sie durch Entwickelung von Pilzen bedingt ist, dadurch unterscheidet, daß die Producte, die sich aus dem Kleber, Eiweiß &c. bilden, neben den chemischen noch vitale Eigenschaften besitzen, welche den anderen Fermenten abgehen. Die Zersetzung des Zuckers erfolgt aber durch Mittheilung der chemischen Bewegung von Seiten der Hefe als eines in Zersetzung begriffenen Körpers (s. d. Art. Fäulniß).

Schleimige Gährung. Viele frisch ausgepreßte Pflanzensäfte, welche die Elemente der Weingährung enthalten, z. B. der Saft von Runkelrüben, Zwiebeln, Möhren &c., gehen bei einer Temperatur von 25° — 30° nicht in die geistige Gährung über, sondern geben unter Gasentwickelung eine trübe, schleimige, fadenziehende Flüssigkeit. Braconnot *) fand in den Gährungsproducten, unter anderem Mannit (Mannazucker), einen gummiartigen Körper, Milchsäure, was die Untersuchungen von Pelouze, Jules, Gay-Lussac und Kircher bestätigen. Die sich entwickelnden Gase sind Kohlensäure und häufig Wasserstoff.

Derselbe Proceß tritt zuweilen auch beim Moste ein, was vielleicht seinen Grund darin hat, daß in Folge zu hoch gestiegener Temperatur eine der alkoholischen Gährung nicht entsprechende Zersetzung des Ferments eintritt. Dafür spricht auch die Erfahrung, daß ausgewaschene und dann mit Wasser gekochte Hefe den Zucker nicht in die geistige, sondern schleimige Gährung überführt.

Zuckergährung nennt man die durch Diastase (s. d. Art.) bewirkte Umwandlung des Amylons in Traubenzucker; dieser Proceß erfolgt unter denselben Bedingungen, wie jeder andere Gährungsproceß.

Milchsäuregährung. — Das Sauerwerden der Milch rührt von der Bildung von Milchsäure her, welche durch Zersetzung des Milchzuckers mittelst des sich zersetzenden Caseins als Ferment entsteht. Niedere Temperatur hält das Sauerwerden auf, in höheren Wärmegraden erfolgt die Umwandlung schnell, am geeignetsten fand man die Temperaturen zwischen 30° — 40°. Dieselbe Umwandlung von Milchzucker erleiden unter diesen Bedingungen Rohrzucker, Traubenzucker, Dextrin, Stärkemehl, welche, wie es wahrscheinlich ist, vor der Zersetzung in Traubenzucker oder Milchzucker (?) übergehen. Das sich zersetzende Casein ist nicht das einzige Ferment für diese Gährung, die Hefe ist, wie schon erwähnt, in gewissem Grade der Zersetzung derselben Gährung fähig, vielleicht aber bildet sich aus beiden erst das Ferment, welches dieser Gährung entspricht. Der Gährungsproceß erfolgt ohne alle Gasentwickelung und unter Gewinnung des Caseins, welches durch Verbindung mit Alkali in der frischen Milch in Lösung erhalten, durch Verwandlung des Milchzuckers in Milchsäure aber vom Alkali getrennt und zur Ausscheidung disponirt wird.

---

*) Ann. de Chim. T. LXXXVI. p. 97.

Aehnlich der Milchsäuregährung ist die Buttersäuregährung, welche dieselben Elemente wie die erstere, oder schon gebildete Milchsäure erfordert, nur muß das Ferment einen Grad weiter in der Zersetzung vorgeschritten sein. Die Milchsäure zerfällt hierdurch in Buttersäure ($C_8\ H_7\ O_3\ HO$), Kohlensäure und Wasserstoff, welche letztere bei der Gährung sich entwickeln.

Außer den hier angeführten Gährungsprocessen, giebt es noch mehrere, z. B. Gallussäure- (s. d. Art.), Bernsteinsäuregährung rc. H. Rt.

Galaktometer, s. Aräometer Bd. I. S. 278.

Galitzenstein bedeutet schwefelsaures Zinkoxyd. Galitzenstein, blauer, wurde früher der Kupfervitriol genannt.

Galläpfel nennt man die kugligen Auswüchse, welche an den jungen Zweigen und Blattstielen verschiedener Eichenarten, Quercus cerris, Q. Aegilops, namentlich der Q. infectoria durch den Stick eines Insects, der Gallwespe (Cynips quercus) entstehen, das seine Eier unter die Oberhaut der genannten Eichentheile legt. Der Auswuchs umgiebt die Eier als eine schwammige aufgedunsene Masse, die später erhärtet und von den auskriechenden Insecten durchbrochen wird, die Galläpfel müssen noch vor dem Durchbrechen gesammelt werden, da sie später ärmer an Gerbstoff sind.

Die besten Galläpfel sind die levantischen, und unter diesen werden die von Aleppo am meisten geschätzt; diese, die sogenannten schwarzen Galläpfel, sind schwer, dicht, stachlig, von schwärzlichgrüner oder bläulicher Farbe und durchbohrt. Die meisten Galläpfel, die weit weniger Werth haben als die schwarzen, sind meist größer, von gelblichgrauer Farbe, viel leichter und schwammig. — Geringere Sorten werden in Dalmatien, Illyrien, Calabrien gesammelt und unter verschiedenen Namen zu uns gebracht.

Die Galläpfel, welche sich häufig auf den einheimischen Eichenarten, namentlich der Unterseite der Blätter finden, sind kaum an Gerbsäure reicher als die Blätter und daher gänzlich unbrauchbar.

Wegen ihres großen Gehalts an Gerbsäure, finden die Galläpfel vielfache Anwendung in der Färberei zum Schwarz- und Graufärben rc. zur Tintenfabrikation, zu Gerben feiner Ledersorten rc. Die sogenannte Galläpfeltinctur ist in weingeistiger Auszug der Galläpfel, der in der Chemie als Reagens auf Eisenoxyd- und verschiedene andere Salze verwendet wird. H. Rt.

Gallussäure (Galläpfelsäure, (Acidum gallicum). Sie wurde 1785 von Scheele entdeckt und später von Pelouze, Liebig, Stenhouse u. A. analysirt. Die Formel der bei 120° getrockneten Säure ist $C_{14}\ H_6\ O_{10}$.

Man findet diese Säure fertig gebildet im Pflanzenreiche, sie kann aber auch künstlich aus der Gerbsäure dargestellt werden. Die Galläpfel enthalten sie nur in kleiner Menge, sie entsteht darin wahrscheinlich durch Gährung*) aus der Gerbsäure, indeß wird sie auch in Pflanzen gefunden, deren Gerbsäuren von der der Galläpfel verschieden sind, z. B. in der Rinde von Strychnos nux vomica, in den Wurzeln von Helleborus niger, Veratrum album, Colchicum autumnale etc. — Zu ihrer Darstellung kann nach dem älteren Verfahren von Scheele ein wässeriger Galläpfelauszug dienen, den man an einem mäßig warmen Orte der Luft

*) Nach Robiquet. — Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 127.

aussetzt oder nach Braconnot Galläpfelpulver, das mit Wasser zu einem Brei angerührt und bei 20° — 25° einen Monat lang der Luft überlassen wird; aus ersterem scheidet sie sich als graue Masse ab, aus letzterem hingegen gewinnt man sie durch Auskochen mit Wasser. In beiden Fällen entsteht sie durch Gährung *). Man kann sie ferner durch Behandlung der Eichengerbsäure mit verdünnten Mineralsäuren oder kaustischen Alkalien erhalten; durch langes Kochen von 10 Theilen Schwefelsäure, die aus 1 Th. englischer Schwefelsäure und 4 Th. Wasser besteht, auf 1 Th. Gerbsäure erhält man nach dem Erkalten ziemlich viel Gallussäure.

Die Gallussäure löst sich in 100 Th. kaltem und 3 Theilen heißem Wasser, leicht in Alkohol, wenig in Aether, röthet Lackmus stark und krystallisirt in zarten nadelförmigen, seidenglänzenden Prismen, die dem rhombischen System angehören. In reinem Zustande fällt sie Leimlösung nicht, giebt mit Eisenoxydsalzen einen blauen Niederschlag, der sich in vielem Wasser auflöst. — Die gallussauren Salze sind an der Luft, namentlich, wenn sie freie Basis enthalten, wenig beständig, zersetzen sich sehr leicht und bräunen sich, worauf dann beim Uebersättigen mit Säure ein brauner huminartiger Körper gefällt wird.

Die wässerige Lösung der Säuren verändert sich allmälig an der Luft, wird braun und schimmelt, es scheidet sich darauf bald auch ein huminartiger Körper ab. Erhitzt man die Säure bis auf 215°, so verwandelt sie sich unter Abgabe von 1 Atom Kohlensäure in ein krystallinisches Sublimat, in Brenzgallussäure, oder Pyrogallussäure $C_6H_3O_3$, bei 250° verliert sie noch 1 Atom Wasser und bildet dann eine schwarze kohlige Masse, Metagallus- oder Gallhuminsäure $C_{12}H_3O_3$, HO. Durch Kochen von 1 Th. Säure mit 5 Th. concentrirter Schwefelsäure bei 110° bildet sich Rothgallussäure, die nach Robiquet die Formel $C_7H_2O_4$ besitzt; sie krystallisirt, ist kermesbraun, fast unlöslich in Wasser und färbt mit Alaun oder Eisensalzen gebeizte Zeuge roth oder violett.

Kochen mit alkalischen Erden (z. B. doppeltkohlensaurem Kalk) führt die Gallussäure in Blaugallussäure, Gallerythronsäure über, welche im freien Zustande mit Wasser rothe, mit Basen aber blaue Lösungen bildet.

Die Gallussäure wird in der Photographie zur Erzeugung negativer Bilder angewendet, und in der Chemie bisweilen als Reagens auf Eisen, Alkalien und alkalische Erden bei Wasseranalysen, indem sehr geringe Mengen der Säure alkalihaltiges Wasser sehr bald grün färben. H. Rt

Galmei nannte man sowohl das kohlensaure als auch das kieselsaure Zinkoxyd, da man diese beiden Zinkerze früher als identisch betrachtete.

Galvanismus. Galvani'sche oder Volta'sche, auch Berührungs- oder Contact-Elektricität nennt man diejenige, welche bei der Berührung zweier ungleichartiger Körper (von der Berührungsstelle aus) erregt wird. Solche Körper befinden sich während der Berührung in entgegengesetzt elektrischen Zuständen; der eine ist positiv, der andere negativ elektrisch, — eine Thatsache, die sich am einfachsten für ungleichartige Metalle an einem Elektroskope, unter Beihülfe eines Condensators, nachweisen läßt.

---

*) Robiquet betrachtet als Ferment die in den Galläpfeln enthaltene Pektase, welche daraus dargestellt Gerbsäure leicht in Gallussäure überführt.

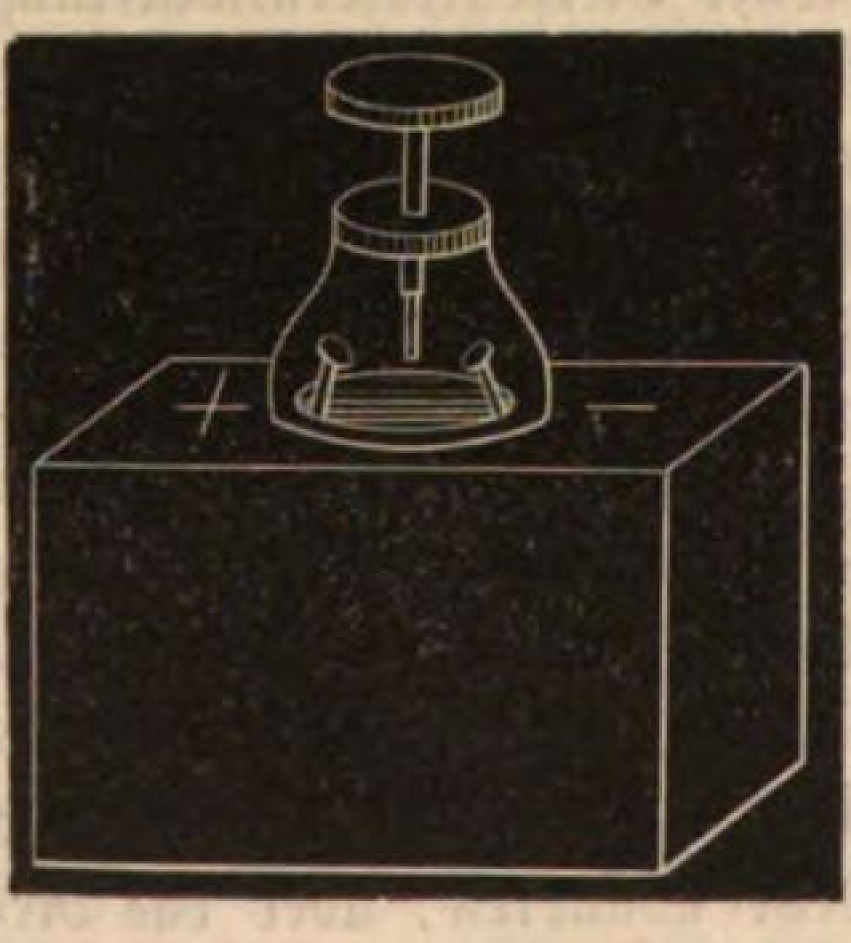
Man nehme zwei glatte Scheiben von verschiedenen Metallen, etwa die eine von Zink, die andere von Kupfer, welche auf der einen Seite in ihrer Mitte mit isolirenden, senkrecht auf ihrer Oberfläche angebrachten Stäbchen von Schellack oder Siegellack versehen sind. Vermittelst dieser Handgriffe bringe man die wohlgeebneten Flächen beider Scheiben mit einander in Berührung und ziehe sie dann möglichst parallel von einander ab, um den elektrischen Zustand der einen oder anderen am Elektroskope zu prüfen. Zu diesem Behufe wird die betreffende Scheibe mit dem unteren Condensatorplatte, die mit den Strohhalmen oder Goldblättchen des Elektroskopes in Verbindung steht, in Berührung gebracht, während die obere Condensatorplatte mit der Erde in leitender Gemeinschaft steht. Da aber die Elektricität, welche durch eine einmalige Berührung auf beiden Scheiben sich entwickelt, immer sehr schwach ist, so muß man die Berührung in der angegebenen Weise öfter wiederholen, dabei aber diejenige Scheibe, die nicht an den Condensator gebracht wird, durch Berührung mit dem Finger in den gewöhnlichen Zustand zurückführen, ehe man sie mit der anderen von Neuem in Contact setzt. Hat man die Berührung auf diese Weise, je nach der Empfindlichkeit des Elektroskopes mehr oder weniger oft erneuert, so tritt endlich beim Abheben der oberen Condensatorplatte eine merkliche Divergenz der Strohhalme oder Goldblättchen ein, und zwar in Folge negativer Elektricität, wenn die Kupferscheibe mit der unteren Platte des Elektroskopes in Berührung gebracht wurde, dagegen auf Grund positiver Elektricität, falls die Berührung mit der Zinkscheibe geschah. Zur sicheren Anstellung dieses Versuches ist erforderlich, daß die Condensatorplatte da, wo die Elektricität der betreffenden Metallscheibe auf sie übertragen wird, eine reine metallische Fläche darbiete, so wie auch, daß die Platte aus demselben Metall bestehe, wie die Scheibe, mit der sie berührt wird, weil sonst der elektrische Einfluß dieser neuen Berührung die Wirkung der ersten modificirt. Doch kann dieser Einfluß größtentheils beseitigt werden, wenn die Uebertragung der zu prüfenden Elektricität durch einen Körper vermittelt wird, der in Berührung mit anderen Körpern keine bemerkbare Elektricitätsentwickelung veranlaßt, wie z. B. Fließpapier, Leinenzeug, Mousselin, Korkstückchen und dergl. Von diesen Körpern bringt man den einen oder anderen in passender Form auf die Condensatorplatte, um damit die betreffende Metallscheibe in Berührung zu bringen *).

Wird der Versuch so mit der nöthigen Sorgfalt angestellt, so giebt er bei trockner Luft immer unzweideutige Resultate, nur ist zum sicheren Gelingen noch wesentlich, daß die beiden Metallflächen, welche mit einander in Berührung kommen, rein sind, daß die Handgriffe gut isoliren, und daß endlich die beiden Scheiben möglichst parallel von einander entfernt werden, damit alle Punkte der einen Metallscheibe so viel als möglich gleichzeitig mit denen der anderen außer Berührung kommen. Der Versuch läßt sich auf verschiedene Weise abändern, aber das Resultat bleibt im Wesentlichen stets dasselbe. So kann die untere Condensatorplatte

*) Ist der zu untersuchende elektrische Zustand sehr schwach, so ist es auch nicht rathsam, den einen oder anderen Leiter durch ableitende Berührung mit dem Finger in den gewöhnlichen Zustand zurück zu führen, da die durch diesen Contact entwickelte Elektricität gleichfalls störend einwirken kann, sondern man bedient sich lieber eines der oben erwähnten Körper.

selbst statt der einen Metallscheibe dienen. Ist diese Platte z. B. von Kupfer, so berühre man dieselbe wiederholt mit einer isolirt gehaltenen Zinkscheibe, während die obere Condensatorplatte mit dem Boden in leitender Gemeinschaft steht, und versetze die Zinkscheibe vor jeder neuen Berührung wieder in den gewöhnlichen Zustand. Hebt man dann die obere Platte des Condensators ab, so divergirt das Elektroskop in Folge der negativen Elektricität, welche die kupferne Condensatorplatte durch die Berührung mit dem Zink angenommen hatte. Oder man nehme einen Condensator, dessen eine Platte (die mit dem Elektroskope verbunden sein mag) aus Kupfer, die andere (obere) aus Zink besteht, und lasse beide Platten isolirt auf dem Elektroskope. Man berühre und trenne abwechselnd eine Zink- und Kupferscheibe, wie beim ersten Versuche, berühre aber nach jedesmaliger Trennung gleichzeitig jede der Condensatorplatten mit derjenigen von beiden Scheiben, welche mit ihr aus demselben Metalle besteht. Hebt man nun die obere Condensatorplatte (aus Zink), nach wiederholter Uebertragung der durch den Contact beider Metallscheiben entwickelten Elektricität, vom Elektroskope ab, so ist dieselbe mit positiver, die andere mit negativer Elektricität geladen. Dieser Versuch läßt sich auch auf die Weise anstellen, daß man beide ungleichartige Condensatorplatten durch einen isolirten Zink- oder Kupferdraht einen Augenblick mit einander in Verbindung setzt, und dann die obere Condensatorplatte, nach Hinwegnahme jenes Drahtes, an ihrem isolirenden Handgriffe abhebt. Hier findet die Elektricitätserregung zwischen dem Drahte und der mit ihm in Berührung stehenden ungleichartigen Condensatorplatte statt, so daß dann das Elektroskop, wenn die mit ihm communicirende Condensatorplatte aus Kupfer besteht, mit negativer Elektricität divergirt.

Am einfachsten läßt sich der Fundamentalversuch über die Elektricitätsentwickelung durch Contact mit einem empfindlichen Elektroskop, z. B. mit dem von Fechner verbesserten Bohnenberger'schen anstellen, wenn man auf dasselbe eine eben geschliffene Kupferplatte schraubt und auf diese eine gleich große ebene Zinkplatte legt. Hebt man die letztere parallel mit der Kupferplatte ab, so erfolgt sogleich ein Ausschlag des Goldblättchens. Auch kann man auf diese Weise leicht darthun, daß der größere Theil der durch den Contact erregten Elektricität an der Berührungsfläche gebunden ist, was einfach daraus hervorgeht, daß erst nach dem Abheben der Zinkplatte ein merklicher Ausschlag erfolgt, so wie auch, daß die Quantität der gebundenen Elektricität mit der Größe der Berührungsfläche zunimmt. Diese Elektricität wird beim Abheben der oberen Platte frei und veranlaßt (hier also ohne Mitwirkung des Condensators) einen merklichen Ausschlag des Goldblättchens.



Der letztere erfolgt nicht, wenn man die Zinkplatte nur in wenigen Punkten mit der Kupferplatte berührt. Die während der Berührung der Platten auf beiden frei auftretende Elektricität ist also nur ein geringer Theil derjenigen, welche überhaupt durch die Berührung beider Metallplatten entwickelt wird. Die Intensität der elektrischen Erregung ist aber in jedem Berührungspunkte gleich groß, und darum ist es auch, falls beide Platten mit einander in Berührung

bleiben, gleichgiltig, ob dieselben sich in wenigen oder vielen Punkten berühren. Bringt man daher ein Stück Zink mit der kupfernen Condensatorplatte eines Elektroskopes in Berührung, während die obere Condensatorplatte zur Erde abgeleitet ist, so wird nach Hinwegnahme dieser Platte der Ausschlag des Elektroskopes, welches auch die Anzahl der Berührungspunkte sein mag, immer von derselben Größe sein.

Ist die eine Metallplatte, z. B. die Zinkscheibe isolirt, die andere aber nicht, sondern in leitender Gemeinschaft mit der Erde; so wird der elektrische Zustand dieser Platte durch Zuleitung aus der Erde ausgeglichen, und in denselben Maaße, in welchem dies geschieht, wächst die Spannung der freien (entgegengesetzten) Elektricität auf jener Platte. Deshalb erhält man auch in dem letzterwähnten Versuche einen stärkeren Ausschlag, wenn man die untere Condensatorplatte mit einer nicht isolirten Zinkplatte berührt. Die Differenz der elektrischen Spannungen auf beiden Platten ist aber stets dieselbe, mögen nun beide Platten oder nur die eine isolirt sein. Bezeichnet man die Spannung der freien positiven Elektricität auf der Zinkplatte durch $+ e$, so läßt sich die Spannung der negativen Elektricität auf der gleich großen Kupferplatte durch $- e$ ausdrücken, und die elektrische Differenz ist dann $= 2e$. Berührt man nun die eine Platte ableitend mit der Erde, so wird ihre Spannung $= 0$, während die der anderen auf $2e$ steigt. Die elektrische Differenz ist also wieder $= 2e$. Bringt man die eine, z. B. die Kupferplatte, nicht mit der Erde, sondern mit einem begrenzten Leiter in Verbindung, oder giebt man derselben eine größere Oberfläche als der Zinkplatte; so sinkt die Spannung der freien negativen Elektricität auf dem Kupfer im Verhältniß zum ableitenden Umfange desselben auf eine bestimmte Größe herab, während die Spannung der freien positiven Elektricität auf der Zinkplatte um eben so viel steigt. Die elektrische Differenz bleibt unverändert.

Zu den obigen Fundamentalversuchen über Contactelektricität nimmt man gewöhnlich Metallplatten von etwa 3 Zoll Durchmesser. Um aber zu zeigen, daß diese Elektricität nicht durch Druck oder Reibung hervorgebracht werde, löthet man nach Volta eine etwas längliche Zink- und eine gleichgroße Kupferplatte mit den schmalen Seiten an einander, und stellt dann mit dieser Doppelplatte den Versuch in der Weise an, daß man die eine, etwa die Zinkplatte in die Hand nimmt und mit der anderen die untere Condensatorplatte berührt, während die obere mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Man findet dann dasselbe Resultat wie oben. Selbst nach einer beliebig langen Zeit zeigen sich die an einander gelötheten Platten noch elektrisch. Es sei hier noch erwähnt, daß zu allen diesen Versuchen auch das Dellmann'sche Elektrometer vorzüglich geeignet ist. Wie man den Peclet'schen Condensator zu eben dem Behufe benutzen kann, ist Bd. I. S. 1000 (Art. Condensator) angegeben.

Wenn man auf eine reine Metallplatte, die mit einem sehr empfindlichen Elektrometer verbunden ist, eine Scheibe von Papier, Glas oder Holz bringt und dann dieselben ohne Reibung von der ersteren abhebt, so entsteht meist ein merklicher Ausschlag, der anzeigt, daß die Metallplatte in Berührung mit jenen Körpern negativ elektrische Ladung angenommen hat. Berührt man Papier oder Holz mit Schellack, so werden die ersteren positiv, das letztere negativ elektrisch. Bei einem Elektroskop von geringerer Empfindlichkeit kann man zur Nachweisung dieser

elektrischen Zustände auch den sogenannten Duplicator (s. d. Art.) benutzen, jedoch mit Berücksichtigung aller Vorsichtsmaßregeln, welche die Anwendung dieses Instrumentes erfordert.

Wie bei der Berührung von Zink oder Kupfer, so wird auch bei dem Contact anderer ungleichartiger Metalle ein elektrischer Gegensatz hervorgerufen, dessen Eigenthümlichkeit durch die Natur der Körper bedingt ist. So wird Zink auch in Berührung mit Platin, und zwar stärker als mit Kupfer, positiv elektrisch. Kupfer aber, im Contact mit Zink negativ elektrisch, wird durch Berührung mit Platin positiv erregt.

Man hat nun die Metalle nebst anderen festen Leitern der Elektricität und chemisch einfachen Stoffen in einer Reihe zusammengestellt, dergestalt, daß jeder vorhergehende in Berührung mit irgend einem der nachfolgenden positiv, der letztere also negativ elektrisch wird. Je weiter zwei Körper in dieser Reihe von einander abstehen, desto größer ist die Intensität der durch ihren gegenseitigen Contact erregten elektrischen Zustände, oder, was dasselbe, um so größer ihre elektrische Differenz. Ausführliche Betrachtungen über diese Reihe findet man in dem Artikel Spannungsreihe, elektrische oder galvanische. Für Metalle mit Einschluß der Kohle gilt nachstehende Reihe: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Messing, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle.

Die elektrische Differenz je zweier beliebiger Glieder in der Spannungsreihe ist gleich der Summe der elektrischen Differenzen der Zwischenglieder. Um dies nachzuweisen, schraubt man gewöhnlich auf das Elektroskop eine Condensatorplatte aus Kupfer, deren obere Fläche wie gewöhnlich gefirnißt, und setzt auf diese eine Condensatorplatte von Zink, deren untere Fläche gleichfalls mit Firniß überzogen ist. Bringt man nun die beiden metallischen (nicht gefirnißten) Flächen dieser Platten durch einen Kupferdraht mit einander in Verbindung, so nimmt der letztere durch seine Berührung mit der Zinkplatte eine negativ elektrische Ladung an, welche sich der Kupferplatte des Elektroskopes mittheilt und nach Hinwegnahme der Zinkplatte einen Ausschlag bewirkt. Verbindet man aber die Zink- und Kupferplatte durch einen Bleidraht mit einander, so wird dieser wegen seiner Berührung mit Zink negativ elektrisch, und dieser Zustand überträgt sich auf die Kupferplatte. Da nun aber zwischen Blei und Kupfer ebenfalls eine elektrische Erregung stattfindet, und zwar in der Art, daß das Kupfer negativ elektrisch wird, so erkennt man, daß zu der erwähnten negativen Ladung der Kupferplatte noch diejenige negativ elektrische Ladung hinzukommt, welche der elektrischen Differenz zwischen Blei und Kupfer entspricht. Nimmt man die obere Condensatorplatte (aus Zink) hinweg, so zeigt sich jetzt der Ausschlag eben so groß als beim vorigen Versuche, woraus sich schließen läßt, daß die elektrische Erregung zwischen Zink und Kupfer gleich ist der Summe der elektrischen Erregungen zwischen Zink und Blei und zwischen Blei und Kupfer. Ersetzt man den Bleidraht durch einen Platindraht, so wird dieser in Berührung mit Zink negativ elektrisch und durch Mittheilung auch die Kupferplatte, welche in Berührung mit Platin gleichzeitig positiv elektrisirt wird. Die elektrische Ladung der Kupferplatte entspricht also gewiß der Differenz der elektrischen Erregungen zwischen Zink und Platin und zwischen Kupfer und Platin. Bezeichnet man die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer mit 2e, die zwischen Kupfer und Platin durch 2e′ und endlich diejenige zwischen Zink und Platin mit 2e″; so hat man nach dem eben Vorhergehenden $2e'' - 2e = 2e'$,

mithin $2e'' = 2e + 2e'$, oder die elektrische Erregung zwischen Zink und Platin ist gleich der Summe der elektrischen Erregungen zwischen Zink und Kupfer, und zwischen Kupfer und Platin. Hebt man die Zinkplatte vom Elektroskop ab, so erhält man auch in diesem Falle denselben Ausschlag wie in den beiden vorigen Fällen.

Hiermit in unmittelbarer Beziehung steht nun auch dies, daß, wenn man verschiedene Glieder der Spannungsreihe, gleichviel in welcher Ordnung, auf einander legt, die elektrische Spannung der Endglieder eben so groß ist, als ob sie sich unmittelbar berührten. Sind die Endglieder durchaus gleichartig, bestehen sie also aus demselben Metalle, so nehmen sie gar keine elektrische Ladung an.

Kohlrausch *) hat sich bemüht, die elektrischen Differenzen der einzelnen Metalle auf dem Wege des Versuches in Zahlen auszudrücken, wobei als Maßstab die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer gleich 100 gesetzt werden kann. Die aus der verschiedenen Natur der metallischen Condensatorplatten entspringenden Modificationen der Ladung wurden durch ein zweckmäßiges Meßverfahren und dann durch eine einfache Rechnung eliminirt. Auf diesem Wege hat Kohlrausch für verschiedene Metalle Resultate erhalten, die im Wesentlichen dem obigen Gesetze der Spannungsreihe entsprechen.

Durch den Contact tropfbarer Flüssigkeiten mit Metallen werden ebenfalls entgegengesetzt elektrische Zustände veranlaßt, obschon die Flüssigkeiten keine bestimmte Stelle in der Spannungsreihe der Metalle einnehmen. Man kann sich hiervon sehr leicht durch den Versuch überzeugen, wenn man mit dem Elektroskope wieder jenen Condensator verbindet, dessen eine Platte aus Kupfer die andere aus Zink besteht. Die erste Platte werde nun von einem Kupfer-, die andere von einem Zinkstreifen berührt, die beide, aber ohne sich zu berühren, in gewöhnliches Wasser tauchen. Die Zinkplatte nimmt dann eine negative, die Kupferplatte eine positive Ladung an, während, wenn dem Wasser eine bestimmte Stelle in der Spannungsreihe der Metalle zukäme, gerade das entgegengesetzte, nämlich dasselbe stattfinden müßte, als wenn die beiden Condensatorplatten durch einen Zink- oder Kupferdraht mit einander verbunden wären. Es würde dann bekanntlich die Zinkplatte positiv, die Kupferplatte dagegen negativ elektrisch werden.

Versuche über die Elektricitätsentwickelung, welche durch den Contact von Metallen mit tropfbaren Flüssigkeiten veranlaßt wird, sind angestellt worden von Karsten **), Pfaff ***), Henrici, De la Rive ****) und Buff *****). Henrici †) berücksichtigte vorzugsweise das Platin, da dieses von Seiten der Flüssigkeit die geringste chemische Einwirkung erfährt. Dasselbe wird in Berührung mit Aetzkalilösung stark negativ, dagegen mit den meisten Säuren und Salzlösungen positiv elektrisch, Gold, Silber, Wismuth und Antimon verhielten sich

*) Poggend. Ann. Bd. LXXXII. S. 1; vergl. auch d. Art. Spannungsreihe, elektrische.

**) Ueber Contactelektricität. Berlin 1836. 8.

***) Revision des Galvano-Voltaismus. S. 49; Poggend. Ann. Bd. LI. S. 110.

****) Recherches sur la cause de l'Ectricit. p. 96. Bibl. univ. de Gen. T. III. p. 375.

*****) Ann. d. Chemie u. Pharmacie. Bd. XLII. S. 5.

†) Ueber die Elektricität der galvanischen Kette. 1840. 8.

ähnlich. Größere Abweichungen verriethen Quecksilber, Zinn und Kupfer. Zink und Eisen nahmen aber in Berührung mit den meisten wässerigen Lösungen eine negativ elektrische Ladung an. Buff gebrauchte, um die elektrische Erregung zwischen Metallen und Flüssigkeiten genauer zu untersuchen, das Fechner'sche Säulenelektroskop. Auf dasselbe wurde von dem zu prüfenden Metalle eine Scheibe befestigt, deren obere Fläche gefirnißt war. Alsdann wurde auf die letztere eine möglichst dünne, geschliffene Spiegelglasplatte, deren eine Fläche gleichfalls gefirnißt war, so aufgelegt, daß die eben erwähnte Fläche nach unten zu liegen kam. Auf der Oberfläche des Glases wurde nun die zu prüfende Flüssigkeit ausgebreitet, was in der Regel so geschah, daß man ein mit der Flüssigkeit getränktes Löschpapier oben auflegte. Die Flüssigkeit wurde durch einen passenden Metallstreifen mit der unteren Condensatorplatte verbunden und hierauf die etwas hervorragende Glasscheibe, welche die Stelle der oberen Condensatorplatte vertritt, entfernt. Das Elektroskop gab dann die Ladung der unteren Platte und damit auch die elektrische Erregung zwischen der Flüssigkeit und dem Metallstreifen zu erkennen. War auf der Glasscheibe reines Wasser ausgebreitet und bestand die Condensatorplatte aus Zink, so nahm diese eine negative Ladung an, wenn sie mit dem Wasser durch einen Zinkstreifen verbunden war, eben so auch, nur viel schwächer, Platin, wenn die Condensatorplatte und der Verbindungsstreifen aus diesem Metalle bestand. Aehnlich verhält sich Kupfer. Besteht die Condensatorplatte aus Zink und wird dieselbe durch einen Platin- oder Kupferstreifen mit dem Wasser auf der Glasscheibe in leitende Gemeinschaft gesetzt, so wird sie positiv geladen, woraus folgt, daß die positive Erregung des Zinks durch Kupfer oder Platin größer ist, als die negative Erregung dieser Metalle durch Wasser. Dagegen ergab sich, daß die negative Erregung des Zinks durch Wasser dem absoluten Werthe nach größer ist als seine positive Erregung durch Platin. Zink, Eisen und Kupfer erhalten in Berührung mit verdünnter Schwefelsäure in verschiedenem Grade eine negative, Gold und Platin eine positive Ladung. Aehnliche Contactverhältnisse zeigt verdünnte Salpetersäure. Concentrirte Salpetersäure erregt Platin, Gold, Kupfer, Eisen positiv, das Zink dagegen, welches heftig angegriffen wird, sehr schwach negativ elektrisch. Ueberhaupt wird dieses letztere Metall bei Berührung mit wässerigen Auflösungen, Salzlösungen und Säuren stets negativ geladen.

Kommen Metalle mit Gasarten in Berührung, so findet ebenfalls eine merkliche Elektricitätserregung statt. So werden die Metalle durch Berührung mit Wasserstoff stark negativ, mit Sauerstoff, Chlor, Brom positiv elektrisch. Die Stärke aber, in welcher die Metalle von Wasserstoff negativ elektrisirt werden, scheint sich nach ihrer Stellung in der Spannungsreihe zu richten. Man erkennt nun leicht, wie bei der Berührung von Metallen und solchen Flüssigkeiten, welche die ersteren chemisch angreifen, eine Abweichung entstehen kann, in sofern nämlich nicht die Flüssigkeit selbst, sondern vielmehr das aus ihr entweichende Gas das elektrische Verhalten bestimmt. Wenn also das Zink in Berührung mit solchen wässerigen Flüssigkeiten, welche andere Metalle positiv erregen, negativ elektrisirt wird, so hat das wohl seinen Grund in dem Wasserstoff, welcher durch die Einwirkung der Flüssigkeit auf dieses Metall entbunden wird. Die Erfahrung, daß Platin schon durch wenige Wasserstoffblasen eine starke negative Ladung annimmt, erklärt Henrici aus der bekannten Eigenschaft des Platins, Wasserstoffgas an seiner Oberfläche stark zu condensiren, während der Umstand, daß Gold und Silber

in Berührung mit Sauerstoff nicht merklich elektrisch werden, von der geringen Adhäsion desselben an diese Metalle abgeleitet wird.

Bei weitem geringer als die bisher betrachtete Contactelektricität ist diejenige, welche bei der gegenseitigen Berührung tropfbarer Flüssigkeiten hervortritt. Nur bei der Berührung zweier Chorüre oder zweier Chloride zeigt sich eine etwas größere elektrische Differenz. Nach Versuchen, welche Henrici hierüber angestellt, bilden die Flüssigkeiten eine Spannungsreihe in der Ordnung, in welcher sie das Platin elektrisch erregen, doch ist die Größe der elektrischen Differenz nicht ganz so wie bei den Metallen durch ihre Entfernung in der Spannungsreihe bestimmt. Die Chlorüre unter sich scheinen aber gerade so, wie die Chloride unter einander, nach der Spannungsreihe der metallischen Grundlage sich zu richten. Versuche über die elektrische Erregung durch gegenseitige Berührung von Flüssigkeiten stellte man gewöhnlich so an, daß man in zwei mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllte Gefäße, welche unter einander entweder durch eine thierische Blase, oder durch einen feuchten Asbestdocht oder Thonpfropf oder durch capillare Oeffnungen communicirten, zwei Platinplatten senkte, die man mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung brachte. Fechner *) hat aber darauf hingewiesen, daß bei diesem Verfahren die Contactelektricität zwischen Metall und Flüssigkeit vorzugsweise zur Erscheinung komme. Um ein reines Resultat zu erhalten, müssen erstlich die Platinplatten vollkommen homogen sein und zweitens in ganz homogene Flüssigkeiten tauchen, die dann ihrerseits erst durch feuchte Körper mit den sich berührenden Flüssigkeiten, deren Wirkung auf einander man prüfen will, in Verbindung gesetzt werden.

Man nennt nun jedes Paar heterogener Körper, in sofern sie bei ihrem gegenseitigen Contact Elektricität erregen, wie etwa Zink und Kupfer, einen Elektromotor, und das gegenseitige Verhältniß beider Körper zu einander, demgemäß der eine positiv, der andere negativ elektrisch wird, ihr elektromotorisches Verhältniß.

Zur Entdeckung der Elektricitätsentwickelung durch den Contact ungleichartiger Körper führte eine Beobachtung von Aloysius Galvani zu Bologna im Jahre 1789. In seinem Hause wurde nämlich zufällig die Wahrnehmung gemacht, daß die Schenkelmuskeln abgehäuteter Frösche in convulsivische Zuckungen geriethen, wenn die Frösche mit einem Leiter berührt und aus dem Conductor einer benachbarten Elektrisirmaschine Funken gezogen wurden. Diese Zuckungen waren lediglich Folgen der Vertheilungselektricität, welche vom Conductor der Maschine aus in den Fröschen erregt wurde, also lediglich Folgen des sogenannten Rückschlages (s. Art. Elektricität, Bd. II. S. 737). Galvani, dem sich diese Erklärung nicht darbot, verfolgte diesen Gegenstand weiter **). Er tödtete Frösche, zog ihnen die Haut ab und entblößte die Cruralnerven. Als er nun einstmals solche Frösche mittelst kupferner Haken an einem eisernen Gitter aufhing, um den Einfluß der atmosphärischen Elektricität auf jene Zuckungen kennen zu lernen, machte er zufällig die Entdeckung, daß die Froschschenkel plötzlich zuckten,

*) Poggend. Ann. Bd. XLVIII. S. 1.

**) A. Galvani de viribus el. in motu musculari commentarius. In comm. Acad. Bononiensis. T. VII. 1791.

so oft sie mit dem Eisen in Berührung kamen; und weitere Versuche lehrten nun, daß diese Zuckungen am lebhaftesten stattfinden, wenn man Muskel und Nerv zugleich mit ungleichartigen Metallen berührt und diese in eine gut leitende Gemeinschaft mit einander bringt. Galvani wurde durch diese Versuche zur Annahme einer besonderen Nervenflüssigkeit oder einer eigenthümlichen thierischen Elektricität geführt, welche in Folge der metallischen Verbindung von den Nerven zu den Muskeln übergehe und in diesen die Zuckungen hervorbringe. Volta *), welcher diese Versuche wiederholte und gleichfalls fand, daß die Zuckungen nur dann lebhaft eintreten, wenn die Metalle, welche die Nerven mit den Muskeln verbinden, ungleichartig sind, erkannte in der Ungleichartigkeit der Metalle ein wesentliches Moment und zeigte darauf, daß eben der Contact solcher Metalle die Veranlassung entgegengesetzt elektrischer Zustände sei, die in den thierischen Theilen unter den angegebenen Umständen sich ausgleichen. Volta bewies durch directe Versuche, daß bei Berührung ungleichartiger Metalle eine Elektricitätserregung stattfinde. Diese Versuche, bekannt unter dem Namen der Volta'schen Fundamentalversuche wurden dann später (zunächst namentlich von Pfaff) theils in derselben, theils in vielfach abgeänderter Weise wiederholt und ihre Resultate im Wesentlichen vollkommen richtig befunden. Die Thatsache, daß nur ein verhältnißmäßig kleiner Theil der durch den Contact erregten Elektricität frei nach außen wirkt, während der größere Theil an der Berührungsfläche gewissermaßen gebunden ist, wurde von Fechner nachgewiesen, der die Volta'schen Fundamentalversuche überhaupt einer genauen Prüfung unterwarf **).

Um die Galvani'schen Versuche mit dem präparirten Frosche zu wiederholen, schneidet man den Körper eines lebendigen Frosches quer unter den vorderen Extremitäten durch, zieht schnell von den ganzen hinteren Extremitäten die Haut ab, entblößt hierauf die Schenkelnerven N, N von allem Fleische und allen sie bedeckenden Theilen, und schneidet dann die Wirbelsäule so ab, daß die unteren Glieder und die oberen Wirbelknochen nur an diesen Nerven hängen bleiben. Darauf wickelt man um die letzteren ein kleines Kupfer-, Zinn- oder Zinkblatt, legt den so präparirten Frosch auf eine isolirende Unterlage, z. B. mit Gummilack gefirnißte Glasplatte, nimmt ein in einen Bogen gekrümmtes Stück von irgend einem anderen Metalle und setzt es mit einem Ende auf die Belegung der Nerven, mit dem anderen auf die Schenkelmuskeln, wo dann die Zuckungen alsbald eintreten. Die letzteren verschwinden einige Zeit nach dem Tode des Frosches, lassen sich aber anfangs, wenn sie schwächer zu werden beginnen, durch Anwendung aller Reizmittel, welche die thierische Reizbarkeit zu steigern vermögen, wieder beleben.



Galvani sah seine Ansicht hinreichend bestätigt, als es ihm gelang, bei einem mit Sorgfalt präparirten Frosche durch bloße Berührung der Nerven und Muskeln, also mit Ausschluß aller metallischen Leiter Zuckungen hervor zu

*) Memoria sull Ellettricita animale. Discorso recitato nel aula dell' Universita in occasione di una Promotione il die 5 Maggio 1792. Deutsch: Alex. Volta's Schriften über die thierische Elektricität. Herausg. von Dr. Mayer. Prag 1793.
**) Poggend. Ann. Bd. XLI. S. 223. Fechner's Repertorium. Bd. I. S. 367.

bringen *). Zu diesem Behufe faßt man einen schnell präparirten Frosch mit der einen Hand an einem seiner Schwimmfüße, so daß der Frosch in umgekehrter Lage schwebt und seine Schenkelnerven isolirt herabhängen, und ergreift dann den freien Fuß mit der anderen Hand, um ihn so umzubiegen, daß der Schenkel in Berührung mit den Nerven kommt. Volta **) zeigte jedoch, daß nicht allein zwei ungleichartige Metalle, mit einander in Berührung gebracht, Elektricität zu erregen vermögen, sondern überhaupt je zwei heterogene Körper, die in dem zuletzt angeführten Versuche Muskeln und Nerven sind.

Wie oft man nun auch zwei durch gegenseitige Berührung elektrische Metalle in den gewöhnlichen Zustand zurückführen mag, eben so oft nehmen sie bei unverändertem Contact wieder entgegengesetzt elektrische Zustände an, so daß also die Berührung ungleichartiger Leiter eine unerschöpfliche Elektricitätsquelle darbietet. Für die Stärke der elektrischen Ladung zweier Leiter findet aber eine gewisse Grenze statt, die erreicht ist, so bald das Streben zur Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände im Gleichgewichte steht mit der Stärke der erregenden Ursache.

Wenn man eine Reihe von Metallplatten, z. B. abwechselnd Zink- und Kupferplatten, so auf einander legt, daß immer Zink und Kupfer einander berühren, so wissen wir aus dem Früheren, daß keine Verstärkung der elektrischen Zustände stattfindet, indem die Endplatten ganz in demselben Maße elektrisch werden, als ob sie sich unmittelbar berührten. Dagegen tritt eine solche Verstärkung allerdings ein, wenn man je zwei Plattenpaare durch einen feuchten Leiter mit einander verbindet. Man erhält dann die von Volta im Jahre 1799 entdeckte und nach ihm benannte Säule oder Batterie.

Man lege auf ein einfaches Plattenpaar Kupfer und Zink, eine Scheibe von Pappe oder Tuch, welche mit einer leitenden Flüssigkeit befeuchtet ist, und auf diese in derselben Ordnung ein Plattenpaar, so daß, wenn man die beiden Kupferplatten resp. durch k, k_1, die Zinkplatten durch z, z_1 und den feuchten Leiter durch l bezeichnet, der Reihe nach auf einander folgen: $k\,z\,l\,k_1\,z_1$. Nun nimmt z in Berührung mit k eine bestimmte positiv elektrische Ladung an, die = 1 gesetzt werden kann. Dieselbe verbreitet sich gleichmäßig über den feuchten Leiter und und über das zweite Plattenpaar $k_1\,z_1$, während der negativ elektrische Zustand der Kupferplatte k, wenn diese mit dem Erdboden leitend verbunden ist, abgeleitet wird. Diese Platte verbleibt also im natürlich elektrischen Zustande. Das z_1 des zweiten Plattenpaares wird ebenfalls wegen seiner Berührung mit k_1 positiv elektrisch, und zwar in demselben Maaße wie z durch seine Berührung mit k. Diese positive Elektricität von z_1 ist daher auch = 1, der negativ elektrische Zustand von k, aber wegen seiner Ableitung zum Boden = 0; statt dessen empfängt k_1 vermittelst des feuchten Leiters l eine positive Ladung von z. Man erkennt nun, daß in z_1 beide positive Elektricitäten, die eine von z wegen der Ueberleitung durch den feuchten Zwischenleiter und die eigenthümliche, aus der Berührung mit k_1

*) Memoire sull ellettricita animale di L. Galvani al celebre Abbate Lazaro Spallanzani. Aggiunte alcune sperienze di G. Aldini. Bologna 1797.

**) Brugnatelli's Annali di Chimica Tome XVI.; Ritter's Beiträge zur näheren Kenntniß des Galvanismus, Bd. II., 3. u. 4. Stück. S. 3.; Grens neues Journal der Physik. Bd. II. 1795. S. 141 ff. Bd. III. S. 480 und Bd. IV. S. 107—130.

resultirende zusammenkommen, so daß man dann für die einzelnen Theile beider Plattenpaare folgende elektrische Zustände hat: $k = 0$, $z = +1$, $k_1 = +1$, $z_1 = +2$.

Bei drei Plattenpaaren mit eingeschalteten feuchten Leitern ($k\,z \mid k_1\,z_1 \mid k_2\,z_2$) hat man auf dieselbe Weise für die erste Zinkplatte z den Werth $+1$, für die zweite $z_1 : +2$, und für die dritte $z_2 : +3$. Die elektrische Spannung der Kupferplatte, die mit der Erde in leitender Verbindung steht, ist $= 0$, die von $k_1 = +1$ und endlich die von $k_2 : = +2$. Bei 4 Plattenpaaren würde der elektrische Zustand der obersten Zinkplatte $= +4$ sein, u. s. f.

Aus dieser Betrachtung, die ihren Grund in den Volta'schen Fundamentalversuchen hat, folgt also, daß bei einer Reihe von Plattenpaaren, die durch Zwischenlagen von feuchten Leitern mit einander in Verbindung stehen, die Spannungen freier positiver Elektricität in arithmetischer Progression zunehmen. Die Spannung der Säule wächst daher mit der Anzahl der Plattenpaare. Wird die Säule in entgegengesetzter Ordnung, also Zink, Kupfer, feuchter Leiter, Zink, Kupfer ꝛc. aufgeschichtet, und die erste (unterste) Zinkplatte mit der Erde leitend verbunden, so nimmt der negativ elektrische Zustand der Kupferplatten nach demselben Gesetze von unten nach oben zu.

Sind beide Enden einer Volta'schen Säule isolirt (also keines derselben mit der Erde in leitender Verbindung), so wird Zink und Kupfer jedes Plattenpaares gleich stark, das Zink positiv, das Kupfer negativ elektrisch, und durch die feuchten Leiter wird überdies die Elektricität jeder einzelnen Platte auf die übrigen Platten verbreitet werden. Wir wollen beispielsweise 4 Plattenpaare von Zink und Kupfer mit dazwischen gelegten feuchten Leitern annehmen. Betrachtet man nun jedes Paar (von dem ersten an gerechnet) einmal als Erreger (Elektromotor) und die übrigen als Leiter, so ergeben sich die elektrischen Zustände der einzelnen Elemente leicht nach dem folgenden Schema. Die letzte Reihe bezeichnet die elektrischen Zustände der einzelnen Glieder, wenn, wie in der Wirklichkeit der Fall ist, alle Paare als Erreger und Leiter zugleich gelten.

z	k	l	z	k	l	z	k	l	z	k
+1,	−1,	−1,	−1,	−1,	−1,	−1,	−1,	−1,	−1,	−1
+1,	+1,	+1,	+1,	−1,	−1,	−1,	−1,	−1,	−1,	−1
+1,	+1,	+1,	+1,	+1,	+1,	+1,	−1,	−1,	−1,	−1
+1,	+1,	+1,	+1,	+1,	+1,	+1,	+1,	+1,	+1,	−1
+4,	+2,	+2,	+2,	0,	0,	0,	−2,	−2,	−2,	−4.

Man sieht, wie die elektrische Spannung, sowohl der Zink- als auch der Kupferplatten von dem einen Ende nach dem anderen hin abnimmt. In der Mitte aber ist die elektrische Spannung, unter Voraussetzung einer vollkommen symmetrischen Anordnung der Säule, gleich Null, so daß also die Säule von hier aus gewissermaßen in zwei entgegengesetzte Hälften, eine positive und negative zerfällt. Bringt man das eine Ende in leitende Verbindung mit der Erde, so steigt die elektrische Spannung an dem anderen, der Erfahrung gemäß, aufs Doppelte, und die ganze Säule zeigt nun die diesem Ende zugehörige Elektricität.

Da nicht allein beim Contact von Metallen, sondern auch zwischen diesen und Flüssigkeiten eine elektrische Erregung stattfindet, so kann die letztere, je nach den

Umständen, die Wirksamkeit der Säule erhöhen oder verringern. Zink und Kupfer werden beide, nur das erstere stärker, in Berührung mit Wasser negativ elektrisch. Ist nun die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer $= 2e$, während die elektrische Erregung des Wassers durch beide Metalle der Differenz 2ε entspricht, so hat man bei 4 Plattenpaaren für die elektrische Differenz der beiden Endglieder $2.4(e+\varepsilon)$, falls das eine Ende mit der Erde communicirt.

Die beiden Enden der Volta'schen Säule, von denen das eine positiv, das andere negativ elektrisch ist, nennt man die Pole der Säule, und zwar das eine den positiven, das andere den negativen Pol. Sind beide Pole von trockner Luft umgeben, so zeigen sie eine gleich starke elektrische Spannung, ruht dagegen der eine Pol auf einer isolirenden Unterlage von Glas, Harz oder dergleichen, während der andere in die trockne Luft hineinragt, so ist der letztere nicht selten stärker elektrisch, in sofern nämlich die trockne Luft ein besserer Isolator ist als die Unterlage, auf welcher die Säule ruht.

Wenn man die äußere Belegung einer Leidner Flasche mit dem einen Pol, nnd die innere mit dem anderen in leitende Verbindung bringt, so wird die Flasche geladen bis zu einem Grade, welcher der Spannung der Pole entspricht. Man kann zu diesem Behufe auch so verfahren, daß man den einen Pol mit der einen Belegung der Flasche in Verbindung setzt, während zugleich der andere Pol der Säule und die andere Belegung der Flasche mit dem Endboden in leitender Verbindung stehen. Hat man eine Säule von 50 oder mehr Plattenpaaren, so läßt sich die gewöhnliche elektrische Anziehung ungleichartig geladener Körper (s. d. Art. Elektricität) nachweisen, indem man feine Goldblättchen an Drähte, die mit den Polen der Säule in Verbindung stehen, befestigt und einander nähert. Die Goldblättchen gehen zusammen und bleiben an einander hängen. Der Versuch kann, um Bewegung durch die Luft zu verhindern, so angestellt werden, daß man die Goldblättchen parallel und nahe neben einander an den Enden zweier Drähte herabhängen läßt, die durch die durchbohrten Wände eines gewöhnlichen Trinkglases mittelst Korkstöpsel, in denen sie sich verschieben lassen, einander gegenüber hindurch gesteckt sind, und die nach außen hervorragenden Enden dieser Drähte mit den Polen der Säule in metallische Verbindung setzt. Verbindet man die Drähte mit den gleichartigen Polen zweier Säulen, so stoßen sich umgekehrt die genäherten Goldblättchen ab, weil beide dann gleichnamig elektrisch werden.

Aus den so eben betrachteten Erscheinungen folgt, daß die Contactelektricität mit der Reibungselektricität im Wesentlichen identisch ist, was sich freilich auch schon aus dem Volta'schen Fundamentalversuche erschließen läßt.

Eigenthümliche Erscheinungen treten auf, wenn man die beiden Pole einer Säule oder Kette durch einen Leiter, etwa durch einen Metalldraht mit einander verbindet. Es findet dann vermittelst des letzteren in jedem Punkte der Kette eine Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände statt, die sich aber, so lange das Contactverhältniß der einzelnen Kettenglieder unverändert bleibt, in derselben Weise erneuen. Der elektrische Strom nun, der hierbei zu Tage tritt, läßt sich betrachten als das Product einer continuirlichen Ausgleichung und Wiederherstellung entgegengesetzt elektrischer Zustände, indem die Kette in raschem Wechsel sich entladet und wieder ladet. Während dies geschieht, ist die freie Spannung jener Zustände nach außen hin mehr oder weniger aufgehoben, so daß sie dann auch nicht mehr in dem Maaße, wie in ihrem Gleichgewichtszustande bei geöffneter

Kette, auf ein condensirendes Elektrometer zu wirken vermögen, und zwar um so weniger, je geringer der Widerstand ist, der sich der Ausgleichung dieser Zustände im Schließungsbogen entgegenstellt. Die Spannungsdifferenz beider Pole nennt man aber die **elektromotorische Kraft** der geschlossenen Säule, und diese Kraft ist proportional der elektroskopischen Spannung der Pole an der geöffneten Säule. Es folgt dies zwar so ziemlich unmittelbar aus der Natur der Sache, kann aber auch durch directe Versuche nachgewiesen werden, wie dies geschehen ist von **Kohlrausch** *) mit Hülfe des von ihm verbesserten **) **Dellmann**'schen Elektrometers.

Während der inneren Thätigkeit der Säule begegnen sich beide elektrische Zustände in entgegengesetzten Richtungen, indem von dem einen Pol der positive, von dem anderen aus der negativ elektrische Zustand fortschreitet. Unter **Richtung** des elektrischen Stromes versteht man aber gewöhnlich diejenige Richtung, in welcher der positiv elektrische Zustand sich fortpflanzt, da sich dann von selbst versteht, daß der negative allemal im entgegengesetzten Sinne sich ausbreitet. Beiläufig sei hier erwähnt daß man die Pole einer Säule nach **Faraday** wohl auch **Elektroden** (von ὁδος, Weg) nennt, da dieselben den Weg des elektrischen Stromes bezeichnen und gewissermaßen die Thüren sind, durch welche der Strom aus- und eintritt.

Die Stärke des elektrischen Stromes ist von verschiedenen Bedingungen abhängig. Zunächst kommt in Betracht die Größe der elektrischen Erregung zwischen den verschiedenen Kettengliedern. Wir wissen, daß zwischen zwei Metallen die Elektricitätsentwickelung oder die elektromotorische Kraft um so bedeutender wird, je größer ihr Gegensatz ist, oder je weiter sie in der Spannungsreihe von einander abstehen. Alsdann ist von Wichtigkeit die Geschwindigkeit, womit die ausgeglichenen entgegengesetzt elektrischen Zustände sich wieder herstellen. Dieselbe ist aber gewiß um so größer, je geringer der Leitungswiderstand der einzelnen Kettenglieder und der Uebergangswiderstand von dem einen Gliede zum anderen ist. Durch dies Alles ist bedingt die Elektricitätsmenge, welche in einer gegebenen Zeit durch einen bestimmten Querschnitt der Kette hindurchgeht. Die Stärke des elektrischen Stromes ist aber dieser Elektricitätsmenge proportional. Ausführliche Betrachtungen hierüber findet man im Artikel **Strom, elektrischer**.

Die oben betrachtete **Volta**'sche Säule ist mit mancherlei Unbequemlichkeiten verbunden, weshalb man schon früh auf andere Formen derselben bedacht war. So kann man mit der betreffenden Flüssigkeit eine Anzahl von Gläsern füllen, von denen jedes zwei ungleichartige Metalle, etwa eine Zink- und Kupferplatte enthält, die in der Flüssigkeit in einem gewissen Abstande von einander abstehen, während jede Zinkplatte durch einen Kupferstreifen mit der Kupferplatte des folgenden Glases verbunden ist. Die beiden Endglieder (Pole) können dann, wenn man die Kette schließen will, durch einen Metalldraht mit einander in leitende Gemeinschaft gesetzt werden.

Eine **einfache Volta**'sche oder **galvanische Kette** erhält man, wenn zwei verschiedenartige Metalle, welche an einem oder an mehreren Punkten mit

---

*) **Poggend.** Ann. Bd. LXXV. S. 220.
) **Poggend. Ann. Bd. LXXIV. S. 499.

einander in metallischer Berührung stehen, an anderen Punkten durch einen flüssigen Leiter mit einander in Verbindung gesetzt werden. Es ist also nur nöthig, zwischen zwei Metallplatten, etwa Zink und Kupfer, welche irgendwo mit ihren Rändern in Berührung stehen, ein befeuchtetes Blatt Papier oder dergleichen zu legen, oder zwei mit ihren einen Enden in Berührung stehende Metallplatten oder Drähte mit ihren anderen, aus einander stehenden Enden in eine Flüssigkeit zu bringen, oder endlich auch zusammengelöthete oder sonst nur in innige Berührung gesetzte Metallstücke ganz in eine Flüssigkeit einzutauchen. Gewöhnlich stellt man eine einfache Kette her, indem man zwei heterogene Metallplatten an die Enden eines Drahtes von irgend einem Metall befestigt und sodann die Platten in ein Gefäß senkt, welches eine leitende Flüssigkeit enthält. Doch dürfen die Metallplatten innerhalb des Gefäßes nur durch die Flüssigkeit mit einander communiciren. Der beide Metallplatten verbindende Draht wird, wie bei der zusammengesetzten Kette, Schließungs- oder Verbindungsdraht, oder der Schließungsbogen genannt. Man kann auch aus einem der beiden heterogenen Metalle ein Gefäß verfertigen, dasselbe mit einer leitenden Flüssigkeit füllen und in diese das andere der beiden Metalle so einsenken, daß es die Wände des Gefäßes nicht berührt. Ein Schließungsbogen dient, beide Metalle außer der Flüssigkeit mit einander zu verbinden. Sind nun die beiden metallischen Glieder einer einfachen Zette Zink und Kupfer, so geht der positive Strom allemal vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer.

Statt einer Flüssigkeit kann man auch zwei verschiedenartige Flüssigkeiten, von denen jede mit einem besonderen Metalle in Berührung ist, zur Construction einer galvanischen Kette verwenden. Hierher gehören die sogenannten constanten Ketten von Daniell, Becquerel, Grove und Bunsen. Bei der ersteren z. B. wird ein Glasgefäß mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol angefüllt und in diese ein hohler Cylinder von Kupferblech gebracht. Alsdann füllt man einen porösen Thoncylinder mit verdünnter Schwefelsäure, taucht in diese einen hohlen, offenen Zinkcylinder, und stellt nun den ersteren in die Vitriollösung. Sowohl an den Kupfer- als auch an den Zinkcylinder ist ein Kupferdraht gelöthet, wodurch die Kette geschlossen werden kann, wenn ihre Thätigkeit beginnen soll. Mehrere solcher einfachen Ketten lassen sich dann leicht zu einer zusammengesetzten Kette mit einander verbinden.

Man nennt nun überhaupt jede galvanische Combination, bei der wenigstens ein Glied aus einer Flüssigkeit besteht, eine hydroelektrische Kette, im Gegensatze zu den Zamboni'schen oder trocknen Säulen, bei denen je zwei Plattenpaare durch einen starren, mehr oder weniger feuchten oder auch ganz trocknen Körper mit einander in Verbindung stehen. Gewöhnlich verfertigt man solche Säulen aus unächten Gold- oder Silberpapier, indem man zwei Blätter davon mit der Papierseite an einander klebt und dann daraus Scheiben von etwa 2 Zoll Durchmesser schneidet. Diese Scheiben legt man in der gehörigen Ordnung auf einander, so daß immer das Silber der einen mit dem Gold der anderen Scheibe in Berührung kommt. Damit aber die Papierseiten überall aufs Innigste sich berühren, pflegt man die Säule etwas zusammen zu pressen, und dieselbe wohl auch noch, um sie vor dem Einfluß der feuchten Luft zu schützen, mit einem Firnißüberzug zu versehen. Bei einer solchen Säule vertritt also das Papier die Stelle des feuchten Leiters in der Volta'schen Kette. Trockne Säulen, die aus einer

größeren Anzahl jener Scheiben, etwa 1000 — 2000, aufgeschichtet sind, zeichnen sich durch ihre elektroskopischen oder Spannungs-Erscheinungen aus, obschon sie sonst der Volta'schen Säule an Wirksamkeit bei weitem nachstehen. Bezüglich der hydroelektrischen Ketten bemerken wir hier noch, daß dieselben füglich in zwei Abtheilungen gebracht werden können. Bei der einen ist nämlich die Richtung des Stromes bedingt durch die elektrische Erregung zwischen den Metallen selbst, bei der anderen durch die elektrische Differenz zwischen Metall und Flüssigkeit. Die sogenannten Gasbatterien oder Gassäulen endlich beruhen auf der elektrischen Erregung zwischen einem Metall und verschiedenen Gasarten.

Vollständige Belehrung über die verschiedenen Arten galvanischer Ketten und deren Construction gewährt der Art. Kette, elektrische.

Die Wirkungen galvanischer Ströme lassen sich auf dieselbe Weise wie die der Maschinenelektricität von einander unterscheiden. Diese Wirkungen sind: mechanische, Licht- und Wärmeerscheinungen, magnetische, inductorische chemische und physiologische Effecte. Bezüglich der magnetischen Wirkungen ist der Artikel Elektromagnetismus zu vergleichen. Daselbst ist das Gesetz angegeben, nach welchem der Schließungsdraht der galvanischen Kette eine in der Nähe befindliche Magnetnadel aus der Ruhelage entfernt. Denkt sich nämlich der Beobachter selbst in den Strom versetzt, so daß dieser bei den Füßen ein-, am Kopfe austritt, und das Gesicht gegen die Magnetnadel gewendet, so wird der Nordpol der Nadel immer zur Linken abweichen. Weiß man dies, so kann man auch umgekehrt aus der Richtung, nach welcher die Magnetnadel abgelenkt wird, die Richtung des elektrischen Stromes bestimmen. Die inductorischen Wirkungen bestehen in der Erregung elektrischer Ströme in benachbarten geschlossenen Leitern, worüber der Artikel Induction, elektrische, nachzusehen ist. Betrachtungen über die thermischen Effecte des elektrischen Stromes finden sich in dem Artikel Wärmequelle. Hier werden wir vorzugsweise berücksichtigen die Lichtphänomene, einige damit zusammenhängende Wärme- und mechanische Erscheinungen, dann die physiologischen und besonders die chemischen Effecte, da diese auf die Vorstellung, die man sich von dem Wesen des Galvanismus und der Elektrität überhaupt macht, einen erheblichen Einfluß ausgeübt haben.

Die mechanischen Wirkungen eines galvanischen Stromes von beträchtlicher Intensität kommen im Allgemeinen mit denen eines gewöhnlichen Stromes, wie ihn die sogenannte Maschinenelektricität liefert, überein. Die Veränderungen, welche Metalldrähte durch den Strom einer Leidner Flasche oder Batterie erleiden, sind im Art. Flasche genauer angeführt. Daß aber selbst verhältnißmäßig schwache Ströme bleibende Veränderungen in dem Molecularzustande der Leitungsdrähte hervorbringen können, bekunden die Wahrnehmungen *) des Herzogs M. zu Leuchtenberg bei den großartigen galvanoplastischen Vergoldungen für

---

*) Aus Bullet de Petersb. in Dingler's polytechn. Journ. Bd. CXIV. S. 356. Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XLVIII. S. 372.

die Isaakskirche in Petersburg; und ähnliches hat Peltier *) schon früher beobachtet, daß nähmlich die Schließungsdrähte einer galvanischen Kette, wenn sie auch gegen äußere Einflüsse geschützt sind, durch die Einwirkung eines andauernden Stromes nach einer gewissen Zeit spröde und brüchig werden.

Hat man eine Säule, die etwa aus 100 Plattenpaaren von 4 Quadratzoll Oberfläche oder aus 30 Paaren von 1 Quadratfuß Oberfläche besteht, so erscheint sowohl beim Schließen als auch beim Oeffnen derselben ein Funke. Man kann den Schließungsdraht an den Pol anlöthen oder sonst mit demselben in eine innige metallische Berührung bringen und dann das andere Ende mit dem entgegengesetzten Pole berühren. Im Augenblick der Berührung erscheint ein deutlich wahrnehmbarer Funke, eben so wenn man die Berührung wieder aufhebt. Auch bei kleineren Ketten, die aus einer geringeren Anzahl von Plattenpaaren bestehen, erhält man Funken, wenn man nur den Uebergang der Elektricität gehörig erleichtert. Zu diesem Behufe macht man in die Kupferplatte des einen Poles eine Vertiefung, die man mit etwas salpetersaurem Quecksilber amalgamirt und dann mit einem oder mehreren Tropfen Quecksilber ausfüllt. Taucht man nun in das letztere einen Kupfer= oder Platindraht, der an dem anderen Pole angelöthet ist, so wird die Kette geschlossen und es erscheint ein Funke. Zieht man den Draht aus dem Quecksilber heraus, so wird die Kette wieder geöffnet und es erscheint abermals ein Funke. Da also immer, sowohl beim Schließen als auch beim Oeffnen der Kette ein Funke zum Vorschein kommt, so unterscheidet man den Schließungsfunken vom Trennungsfunken. Anstatt mit dem von dem einen Pol ausgehenden Draht den anderen Pol zu berühren, kann man auch mit dem letzteren einen Draht verbinden und die Schließung durch beide Poldrähte bewerkstelligen, indem man diese mit ihren freien Enden in genaue Berührung bringt. Auch in diesem Falle erscheinen Funken. Bei Anwendung feiner Eisen= oder Stahldrähte ist der Funke kreisförmig umhersprühend und ähnelt bei einer gewissen Intensität einer strahlenden Sonne, eine Folge losgerissener, glühender Eisentheilchen. Dagegen geben Platindrähte meist Funken ohne Strahlen. Geht von dem einen Pole einer starken Kette ein Eisendraht aus, während ein Draht von dem anderen Pole in Quecksilber taucht, so erscheint ein sehr schöner Funke, wenn man mit dem ersten Drahte die Oberfläche des Quecksilbers berührt. Ist die Kette sehr kräftig, so beginnt das Quecksilber mit lebhafter Flamme zu brennen, sobald die Poldrähte eingetaucht werden.

Während der Thätigkeit des Stromes findet in der Kette eine Wärmeerregung statt, welche zwischen den Polen größerer Ketten oder Batterien, von 20 — 40 Paaren, eine solche Hitze erzeugen kann, daß selbst die strengflüssigsten Metalle geschmolzen werden können, wenn man sie in kleine Tiegel aus Coaks oder derselben Masse, woraus die Kohlencylinder der Bunsen'schen Kette bestehen, legt, und dann die Poldrähte so damit in Verbindung bringt, daß der Strom durch das zu schmelzende Metall seinen Weg nehmen muß. Zu den gewöhnlichen galvanischen Glühversuchen nimmt man schlechtere Wärmeleiter, namentlich Platin= und Eisendrähte, die man mit den wohl gereinigten Enden der Poldrähte entweder vermittelst Schraubenklemmen oder durch öfteres Umwickeln in leitende Gemein=

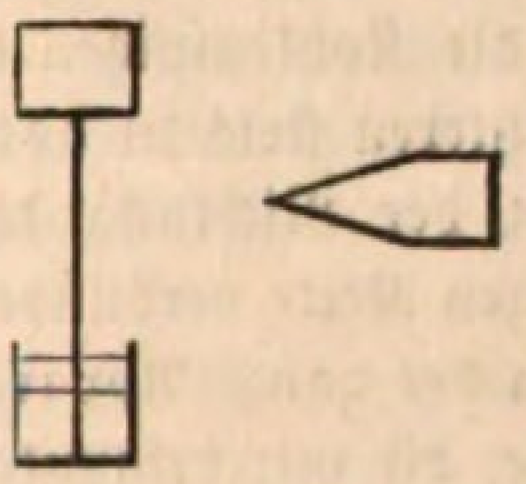
*) Compt. rend. T. XX. p. 62. Poggend. Ann. Bd. LXIII. S. 646.

schaft setzt. Sind diese Drahtstücke, durch welche die Kette geschlossen wird, hinreichend kurz und dünn, so gerathen sie sehr bald ins Glühen, wenn man auch nur etwa 3 — 4 Zinkkohlenelemente zu einer Kette mit einander verbunden hat. Mit einer größeren Anzahl solcher Elemente (30 — 35) läßt sich aber auch ein Eisendraht von 2 und mehr Fuß fast momentan zum Weißglühen bringen, so daß er alsbald in eine zahllose Menge glänzender Kügelchen zerfällt. Dünne Gold- und Silber- oder auch Stanniolblättchen werden verflüchtigt. Die Wärmeerregung ist übrigens mehr durch die Größe als durch die Anzahl der Metallplatten bedingt. Doch pflegt man, wo es auf bedeutende Effecte ankommt und ein größerer Leitungswiderstand zu überwinden ist, eine größere Anzahl galvanischer Elemente von großer Oberfläche mit einander zu verbinden.

Wenn man die Enden der Poldrähte durch ein kurzes Stück Eisendraht auf die obige Weise mit einander verbindet, so wird Schießpulver, das man auf den letzteren gestreut hat, augenblicklich entzündet, sobald man die Kette schließt. Man hat hiervon eine praktische Anordnung gemacht, um das Sprengen der Felsen, selbst unter Wasser, auf eine bequeme und gefahrlose Weise zu bewerkstelligen, indem die kupfernen Poldrähte einer aus etwa 4 – 6 Zinkkohlenelementen bestehenden Kette, nachdem man dieselben durch einen kurzen Eisendraht mit einander verbunden, in das Bohrloch so einsenkt, daß sie sich nicht berühren, sondern eben nur durch den Eisendraht mit einander in Verbindung stehen. Darauf wird das Loch mit der nöthigen Menge Pulver und Sand ausgefüllt und die Kette geschlossen. Man erkennt, daß man mit einem und demselben Strome mehrere Sprengungen zugleich ausführen kann, wenn man den Leitungsdraht mehrfach durch kurze Stücke von Eisendraht unterbricht und diese in die betreffenden Bohrlöcher einsenkt.

Eine sehr glänzende Lichterscheinung läßt sich hervorbringen, wenn man an die Poldrähte Kohlenspitzen befestigt und die letzteren mit einander berührt. Ein hierher gehöriger Versuch wurde zuerst von H. Davy angestellt. Derselbe brachte in einen gläsernen Ballon von 10 — 12 Zoll Durchmesser zwei Kegel von Kohle, welche mit ihren Grundflächen an Metallstäben befestigt waren. Die letzteren befanden sich diametral gegenüber in Lederbüchsen, so daß sie bis zur Berührung der Kohlenspitzen einander genähert und auch wieder von einander entfernt werden konnten. Als nun der Ballon möglichst luftleer gemacht war, und die Kohlenspitzen bis zum Contact einander genähert waren, wurde der Strom einer kräftigen Säule hindurch gelassen. Es erschien ein sehr intensives Licht, und allmälig konnte man die glühenden Kohlenspitzen von einander entfernen; es gingen dann glühende Kohlentheilchen von der einen zur andern über und bildeten einen ungemein glänzenden Lichtbogen, der bei einer Säule von 2000 Paaren eine Länge von 7 Zoll hatte, während derselbe in der Luft unter sonst gleichen Umständen 4 Zoll lang war. Zu derartigen Versuchen ist auch der Bunsen'sche Apparat sehr wohl geeignet. Durch eine Kette von 40 — 50 Zinkkohlenelementen wird auf diese Weise ein Licht entwickelt, welches das Drummond'sche Kalklicht an Intensität weit übertrifft. Indessen kann man schon mit 6 — 8 solcher Elemente eine ziemlich brillante Lichterscheinung zur Darstellung bringen, und zwar in folgender Weise. Zwei bis zu einer gewissen Tiefe ausgehöhlte Korkpfropfen werden auf einer Tischplatte mittelst Siegellack in einem gewissen Abstande von einander befestigt, und dann in jeden ein Kupferstab, der oben mit einem Ringe versehen ist, vertical eingesteckt. In diese Ringe sind die Kohlenstücke eingeschoben,

deren Spitzen einander berühren müssen. Alsdann werden die Höhlungen in den Korkpfropfen mit Quecksilber ausgefüllt und in dieses die betreffenden Poldrähte eingetaucht. Zu den Kohlenspitzen kann man dieselbe Masse nehmen, woraus die Kohlencylinder der Kette bestehen, oder auch stark ausgeglühte und in Wasser abgelöschte Holzkohle. Sobald die Kette geschlossen ist, gerathen die Kohlenspitzen ins Glühen und verbreiten ein sehr lebhaftes Licht. Die erforderliche Berührung der Spitzen kann man vermittelst der Hände unterhalten.



Der Lichtbogen, welcher sich durch eine größere Kette erhalten läßt, hat meist eine cylindrische oder ellipsoidische Gestalt, dessen größte Dicke in der Mitte ist und dessen obere Seite durch die Bewegung der erhitzten Luft eine convexe Biegung annimmt. Die glühenden Kohlentheilchen, durch die er gebildet wird und die ihm seinen Glanz hauptsächlich verleihen, werden zwar von beiden Polen nach allen Richtungen fortgestoßen, doch geschieht die Ueberführung dieser Theilchen vorzugsweise von dem positiven nach dem negativen Pol hin, so daß nicht selten auf der jenen Pol bildenden Spitze eine Vertiefung, auf der anderen aber eine Erhabenheit wahrzunehmen ist. Der Lichtbogen kann indessen auch ohne vorhergehende Berührung der beiden einander nahe befindlichen Spitzen erzeugt werden, wenn man, wie Daniell oder, nach Sturgeon, Herschel entdeckt hat *), den Schlag einer Leidner Flasche zwischen ihnen überspringen läßt. Durch diese Entladung werden materielle Theilchen losgerissen und durch dieselben die galvanische Kette geschlossen. Der galvanische Strom beginnt und mit ihm jene Fortführung der Theilchen.

Einige messende Versuche über die Intensität des elektrischen Kohlenlichtes sind von Fizeau und Foucault **) und von Casselmann ***) angestellt worden. Letzterer erhielt bezüglich des Verhältnisses der Leuchtkraft des Lichtbogens zur Stromstärke das Resultat, daß jene mit dieser zunimmt. Je kürzer aber derselbe ist, desto constanter ist die Leuchtkraft und Stromstärke. Rohe Kohle, eben so zubereitet wie die Kohlencylinder der Kette, gab eine unruhige und von einem knisternden Geräusch begleitete Flamme. Wurden aber zwei Kohlenspitzen vorher in verschiedene Lösungen, z. B. von salpetersaurem Strontian, Borsäure rc. eingetaucht und dann ausgeglüht, so zeigte sich, nach vorgängiger Berührung, ein sehr ruhiger, je nach der angewandten Substanz verschieden gefärbter Lichtbogen, der von keinem bemerkbaren Geräusch begleitet war. Casselmann ****) machte auch einige bemerkenswerthe Beobachtungen bezüglich der magnetischen Eigenschaften des Lichtbogens, der in seinen Stellungen zum Horizont auffallende Verschiedenheiten zeigt, in dem er von Seiten des Erdmagnetismus bald eine Anziehung, bald eine Abstoßung erfährt. Wenn man sich die beiden Kohlenspitzen horizontal liegend und durch die glühenden Anfangspunkte des Lichtbogens eine senkrechte Ebene denkt, so liegt der höchste Punkt des Bogens nie in

*) Poggend. Ann. Bd XLIX. S. 122.
**) Archiv de l'Ectric. T. IV. p. 311; Poggend. Ann. Bd. LXIII. S. 463.
***) Poggend. Ann. Bd. LXIII. S. 576.
****) Poggend. Ann. Bd. LXIII. S. 588

dieser Ebene, sondern mehr oder weniger weit auf der einen Seite davon entfernt. Läßt man die Kohlenspitzen in verschiedenen Stellungen einen Lichtbogen bewirken, so bemerkt man bald eine auffallende Regelmäßigkeit in diesen Abweichungen. Einige Versuche hierüber wurden in der Weise angestellt, daß die Kohlenspitzen in die Klemmen eines Polhalters eingeschoben, beide Arme des letzteren stets in *derselben* Horizontalebene erhalten und die Abwechselungen in der Richtung des Stromes, nachdem die Klemmen mit den Polen einer vielpaarigen Kette verbunden waren, durch die Stellung des Tisches erzeugt wurden, auf dem der ganze Apparat stand. Aus zwei Versuchsreihen ergaben sich folgende Resultate, die mit bekannten Gesetzen des Elektromagnetismus übereinstimmen. Die Buchstaben N, O, S und W beziehen sich auf den magnetischen Meridian.

Richtung des Stromes	Abweichung des Bogenscheitels aus der Verticalebene.
von N nach S	nach O
= NW = SO	= NO
= W = O	= N
= SW = NO	= NW
= S = N	= W
= SO = NW	= SW
= O = W	= S
= NO = SW	= SO

Wenn, während der Strom senkrecht zum magnetischen Meridian in horizontaler Richtung von O nach W ging, ein künstlicher Magnetstab in horizontaler Richtung über und unter, in senkrechter Richtung rechts und links von dem Strome in einer Entfernung von 2 — 3 Zoll, so gehalten wurde, daß seine Axe in die Ebene des magnetischen Meridians fiel so wurde der Lichtbogen vor dem Magnet angezogen, falls letzterer in einer Stellung sich befand, in welche eine bewegliche Magnetnadel durch den Strom gebracht worden wäre, abgestoßen dagegen, wenn er sich in der entgegengesetzten befand.

Ein Hufeisenmagnet wurde dem Flammenbogen von der Seite her so genähert, daß sein Nordpol über, sein Südpol unter dem Strome stand; und alsdann mit dem Nordpol voran um den Strom so bewegt, daß derselbe stets zwischen den beiden Polen blieb. Der Bogen wurde bei jeder Stellung des Magneten in das Hufeisen hineingezogen. Nach Verwechselung der Pole des Magneten und Wiederholung desselben Verfahrens neigte der Bogen sich aus dem Hufeisen heraus.

Wird statt des einen Kohlenpols ein Stahlstab als Elektrode angewandt, so entsteht zwischen ihm und der anderen Kohle ein ähnlicher Flammenbogen, welcher, wenn der Stahlstab magnetisch ist, um diesen herum rotirt.

Die Richtung des Stromes war bei den Versuchen *Casselmann's* über diesen Gegenstand von West nach Ost, in horizontaler Richtung senkrecht zum magnetischen Meridian.

Der Magnetstab war mit seinem Nordpol in die eine Klemme des beweglichen Polhalters im Osten eingespannt, so daß hier Südpol und Kohlenspitze gegenüberstanden, und der Strom in ihm vom Südpol zum Nordpol ging. Die Rotation des Bogens geschah von Norden unten herum nach Süden. Wurde aber da,

wo eben der Nordpal war, der Südpol eingespannt, so daß jetzt im Magnete der Strom vom Nordpol zum Südpol ging, so rotirte der Bogen im entgegengesetzten Sinne.

Nun wurden Kohlenspitze und Magnetstab umgewechselt, der letztere mit seinem Nordpol im Westen eingespannt, so daß der Strom in ihm vom Nordpol zum Südpol und von da zur Kohle ging. Die Rotation geschah wie beim ersten Versuche. Als darauf die Pole des Magneten abermals umgekehrt wurden, so daß der Strom vom Südpol zum Nordpol und von da zur Kohle ging, rotirte der Bogen wieder wie im zweiten Falle.

Das Resultat aus Casselmann's Versuchen ist, daß der Flammenbogen sowohl in Hinsicht auf den Widerstand, den der Strom in ihm findet, als auch was sein Verhältniß zu magnetischen Kräften betrifft, sich gerade so wie jeder andere feste Leiter der galvanischen Elektricität verhält.

Daß ein kräftiger Magnet auf einen Volta'schen Flammenbogen eben so wirkt wie auf einen beweglichen Leiter, der vom Strome durchflossen wird, beobachtete zuerst Davy.

Der Lichtbogen zeigt sich auch zwischen zwei Metallspitzen und selbst zwischen einer Metallspitze und einer Metallplatte, doch ist die Kohle wegen ihrer zerreiblichen Eigenschaft vorzugsweise geeignet, einen langen Bogen zu liefern. Einige Versuche mit Metallspitzen haben Grove *) und Daniell **) gemacht; auch führt ersterer mehrere Thatsachen an, nach welchen der Glanz des Lichtbogens durch die Gegenwart von Sauerstoff bedingt ist. Breda ***) stellte Untersuchungen über den Lichtbogen sowohl in der Luft als im Vacuum an, wobei er einen Apparat benutzte, mittelst dessen der Bogen im Brennpunkte eines Mikroskopes hervorgebracht werden konnte.

Unter dem Mikroskop ließ sich eine Metallspitze bewegen, bald gegen eine zweite Spitze der Art, bald gegen eine Metallplatte. Die Bewegung geschah mittelst einer Mikrometerschraube, welche Hundertel eines Millimeters zu bestimmen erlaubte. Um die Erscheinung ohne vorhergehenden Contact der beiden Elektroden zu beobachten, wurde die Entladung einer Leidner Flasche zwischen den Spitzen oder zwischen Spitze und Platte übergeführt. Seine Versuche zeigten Breda, daß die Fortführung der Theilchen nach beiden Seiten geschieht, gleichzeitig vom positiven zum negativen Pol und von diesem zu jenen. Die Menge der fortgeführten Substanz hängt aber von der Natur und Form der Elektroden ab. Die Theilchen der Elektroden, bemerkt Breda, werden von beiden Seiten im Raume fortgeschleudert, was aber nicht verhindert, daß einige derselben zum gegenüberstehenden Pol gelangen und an dessen Fläche sich anheften. Der größere im Raume fortgeschleuderte Theil fällt indessen nieder und kann am Boden des angewandten Gefäßes gesammelt werden. Diese Theilchen sind meist ganz kugelrund, und waren also geschmolzen. Das Zurückwerfen der Theilchen von den Elektroden ist besonders sichtbar, wenn man eine Kugel und eine Platte anwendet. In einer Reihe von Versuchen wurden die Elektroden vor und nach dem Versuche auf einer

*) Biblioth. univers. Juin. 1840. T. XXVII. p. 387; Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 219.

**) Archiv. de l'Ecir. T. I. p. 492; Poggend. Ann. Bd. LX. S. 381.

***) Compt. rend. T. XXIII. p. 462; Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 326.

empfindlichen Wage gewogen, um zu erfahren, wie viel sie an Gewicht verloren oder gewonnen hatten. Als Breda den Abstand zwischen zwei Kugeln oder zwischen einer Kugel und Platte hinreichend klein nahm, brachte er, ohne vorhergehenden Contact, mit einer Säule einen Metallfaden hervor, der die beiden Elektroden mit einander verknüpfte und den Strom unterhielt.

Weitere Untersuchungen über den Volta'schen Lichtbogen wurden von De la Rive *) angestellt. Derselbe betrachtete zunächst einen Bogen, welcher zwischen einer Platte und Spitze von gleichem Material in der Luft und im Vacuum hervorgebracht war. Mittelst einer Mikrometerschraube konnte die Spitze sehr langsam von der Platte entfernt und deren Abstand von derselben mit großer Genauigkeit bestimmt werden. Die Grenze des Abstandes, jenseits dessen der Lichtbogen zu verschwinden aufhört, zeigt sich constant für dieselbe Platte und dieselbe Spitze. Wenn aber die Platte mit dem positiven Pol communicirt, so ist sie im Allgemeinen doppelt so groß, als wenn die Spitze mit demselben Pol verbunden ist. Dieser Unterschied wird jedoch kleiner, im Verhältniß die Stärke der Säule größer wird. Die absolute Größe des Abstandes ist abhängig von der Stärke der Säule, von der Natur und dem Molecularzustande der Elektroden, und von der zum Versuche verwandten Zeit. Die Dauer des Phänomens hat in sofern Einfluß, als die hohe Temperatur der Elektroden dann erlaubt, diese, ohne Unterbrechung des Bogens, weiter aus einander zu ziehen. Dasselbe läßt sich erreichen, wenn man die Elektroden künstlich durch eine Weingeistlampe erhitzt.

Die Ablagerung der fortgeführten Substanz bildet auf der Platte, wenn sie negativ und die Spitze positiv ist, eine Art von sehr regelmäßigem Ring, dessen Mittelpunkt die Projection der Spitze auf die Platte ist. Da dies sowohl bei verticaler als horizontaler Lage der Platte stattfindet, so giebt sich darin eine bestimmte Richtung in der Fortführung der Substanz von dem positiven zum negativen Pol zu erkennen.

Mit einer Grove'schen Säule aus 50 stark geladenen Plattenpaaren und in höchst verdünnter Luft bildete sich, wenn eine Platinplatte als positiver und eine Platinspitze als negativer Pol diente, auf der ersteren ein bläulicher, vollkommen runder Fleck, ganz vom Ansehen der Nobili'schen Ringe. In atmosphärischer Luft erschien derselbe Fleck, allein von halb so großem Durchmesser und von viel weniger lebhaften Farben. Da in Wasserstoff kein farbiger Fleck entstand, so leitet ihn De la Rive aus einer Oxydation des Platins in hoher Temperatur her, wenn dasselbe in der gewöhnlichen Atmosphäre, und mehr vielleicht noch, in verdünnter Luft als positiver Pol dient. Als dieselbe Platte zum negativen Pol gemacht war, während die Spitze als positive diente, bekleidete sie sich mit einem weißen runden Fleck, gebildet aus einer ungeheuren Zahl von kleinen Platinkörnchen, die eine hohe Temperatur erlitten hatten und an der Fläche haften blieben. Der weiße Fleck war, wie der blaue, viel größer in verdünnter Luft als im Vacuum. Wurde der Versuch mit der Platte als negativer und dem zugespitzten Stabe als positiver Pol einige Minuten unterhalten, so ward dieser stark glühend, sein Ende schmolz und fiel auf die Platte in Form eines vollkommen runden Kügelchens. War dagegen die Platte positiv und die Spitze negativ, so erhitzte sich die

*) Philosophical Transact. f. 1847. pt. 1; Poggend. Ann. Bd. LXXVI. S. 270

letztere weniger und schmolz nicht; aber die Platte ward, wenn sie nicht sehr dick war, leicht durchbohrt. Das Licht war weniger glänzend, aber begleitet von einem blauen Reflex, den man bei Anstellung des Versuches in einer Glocke sehen konnte, die Luft mochte verdünnt sein oder nicht. Als de la Rive die Platinspitze unter Beibehaltung der Platinplatte durch eine Spitze von Coaks ersetzte, erhielt er, wenn die letztere negativ und die Platte positiv war, einen Bogen, der mehr als doppelt so lang war wie der bei der Platinspitze. Machte man die Coaks positiv und das Platin negativ, so war der Bogen kürzer als im vorhergehenden Falle, besonders in der Luft. Eine Zinkspitze gab unter sonst gleichen Umständen eine höchst glänzende Erscheinung, die aber, da die Spitze rasch schmolz, von kurzer Dauer war. In gewöhnlicher Luft lagerte sich weißes Oxyd auf die Platte ab, in höchst verdünnter Luft dagegen bildete sich ein schwarzer Niederschlag. Als statt der Zinkspitze eine von Eisen genommen wurde, bildete sich gleichfalls in gewöhnlicher Luft ein bräunlich rother Niederschlag von Eisenoxyd und in verdünnter Luft ein Niederschlag von schwarzem Eisenoxyd.

Spitzen und Platten von Eisen, Silber, Kupfer, Argentan gaben im Allgemeinen dieselben Resultate. Die Silber- und Kupferplatten zeigten als positive Elektroden sehr entschiedene Vertiefungen, veranlaßt durch den Uebergang von Substanz vom positiven zum negativen Pol. Eine Spitze und Platte von Kupfer gaben einen Bogen von schönem, grünem Lichte. Quecksilber wurde ebenfalls als positive und negative Elektrode angewandt. Dasselbe gerieth in eine außerordentliche Bewegung, stieg in Form eines Kegels auf, wenn es positiv war, und sank bedeutend unter der positiven Spitze, wenn es negativ war.

Sind beide Spitzen von gleichem Metall, von Platin oder Silber, so wird nur die positive ihrer ganzen Länge nach glühend. Ist die Silberspitze positiv und die (die Wärme schlechter leitende) Platinspitze negativ, so wird die letztere glühend und die erstere viel weniger erhitzt. Im Allgemeinen kann man es aber als feststehend betrachten, daß wenn die Leiter zu beiden Seiten des Bogens von gleichem Materiale sind oder in ihrer Leitungsfähigkeit nur ein kleiner Unterschied besteht, dann die Wärmeentwickelung nicht gleichförmig, sondern viel größer an der positiven als an der negativen Seite ist.

Den Einfluß des Magnetismus auf den Volta'schen Bogen zog de la Rive ebenfalls in den Kreis seiner Untersuchungen. Als der Bogen zwischen zwei Spitzen von weichem Eisen, die sich innerhalb eines Gewindes aus starkem Kupferdraht befanden, entwickelt wurde, verschwand derselbe in dem Moment, als durch den Draht des Gewindes ein starker Strom geleitet wurde, erschien aber wieder, wenn man diesen Strom aufhob, ehe die Spitzen kalt geworden waren. Sobald die beiden Eisenspitzen magnetisirt sind, gleichviel ob durch einen galvanischen Strom oder durch einen kräftigen Magnet, müssen dieselben einander viel näher kommen, wenn der Bogen zwischen ihnen zu Stande kommen soll; und die Erscheinung gewinnt in diesem Falle ein ganz anderes Ansehen. Die fortgeführten Theilchen scheinen sich mit Schwierigkeit von der positiven Spitze abzulösen, und Funken sprühen mit Geräusch in allen Richtungen fort. Ist die positive Eisenspitze stark magnetisirt, so bewirkt sie in dem Moment, wo zwischen ihr und dem negativen Pol, aus welchem Stoffe dieser auch bestehe, der Lichtbogen zu Stande kommt, ein sehr starkes Geräusch, ähnlich dem scharfen Zischen, mit welchem der

Wasserdampf aus einer Locomotive entweicht, ein Geräusch, das gleichzeitig mit der Magnetisirung verschwindet.

De la Rive benutzte zu diesen Versuchen einen Elektromagnet von großen Dimensionen und großer Kraft, den er in solcher Weise aufstellte, daß an jedem seiner Pole oder zwischen beiden verschiedene Metalle als eine der Elektroden der Säule angebracht werden konnte, während eine Spitze von demselben Metall oder einer anderen Substanz als die zweite Elektrode diente. Es wurde nun auf den Pol des Elektromagnets eine Platinplatte gelegt und eine Spitze desselben Metalls vertikal darüber aufgestellt. Die Platte wurde positiv und die Spitze negativ gemacht, und der Volta'sche Bogen zwischen beiden entwickelt. Sobald der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt ward, ließ sich eine scharfes Zischen hören, und um den Bogen zu unterhalten, mußte man die Spitze näher an die Platte bringen. War die Platte negativ und die Spitze positiv, so wurde die Erscheinung eine ganz andere. So wie der Elektromagnet geladen war, blieb der Lichtbogen nicht mehr vertical, sondern nahm eine schiefe, nach auswärts gegen den Rand der Platte verschobene Richtung an. Er wurde unaufhörlich unterbrochen, unter Begleitung eines scharfen und plötzlichen Geräusches (Detonation), ähnlich dem der Entladung einer Leidner Flasche. Die Richtung, in welcher der Lichtbogen fortgeschoben wird, hängt sowohl von der Richtung des erzeugenden Stromes als auch von der Lage der Platte auf dem einen oder anderen der Magnetpole oder zwischen beiden ab. Eine Platte und Spitze, beide von Silber, Kupfer oder einem anderen nicht leicht schmelzbaren Metall zeigen im Allgemeinen dieselben Erscheinungen, doch bieten Kupfer und namentlich Silber die Eigenthüulichkeit, daß Platten von diesen beiden Metallen auf ihrer Oberfläche die Eindrücke der Wirkung, welche bei diesen Versuchen stattfinden, behalten. Ist z. B. die Platte positiv, so zeigt derjenige Theil ihrer Oberfläche, welcher unter der negativen Spitze lag, einen Fleck in der Form einer Spirale, so als ob das daselbst geschmolzene Metall eine wirbelnde Bewegung um ein Centrum gemacht hätte in dem Moment, da es in Form eines Kegels gegen die Spitze gehoben ward. Die Spiralcurve zeigt sich überdies durchweg gefurcht mit kleinen Verästelungen, während, wenn die Platte negativ und die Spitze positiv ist, die Spuren ganz anders sind, nämlich ein bloßer Punkt oder vielmehr eine Scheibe von sehr kleinem Durchmesser, aus welchem eine mehr oder weniger gekrümmte Linie hervortritt. Bei Anwendung von zwei Spitzen ist diese Erscheinung natürlich nicht wahrzunehmen, wohl aber lassen sich das Gezisch und die Detonationen erhalten, und letztere sollen mitunter so laut sein, daß sie wie entferntes Musketenfeuer klingen, unter der Voraussetzung nämlich, daß sowohl der Elektromagnet als auch der den Bogen erzeugende Strom sehr kräftig sind.

De la Rive betrachtet das Zischen als das Resultat eines leichten fortwährenden Transports mehr oder weniger flüssiger Materie von der positiven Elektrode aus, während die Detonationen aus dem Widerstande hervorgehen, den dieselbe Materie, wenn sie noch nicht hinreichend erhitzt ist, der Zertrennung ihrer Theilchen entgegensetzt. Um das Zischen hervorzubringen, ist nur nöthig, den Bogen, nachdem einmal die positive Elektrode glühend geworden ist, möglichst sorgfältig in seiner Continuität zu erhalten, während man anderseits, um die Detonationen zu erhalten, eine der Elektroden in die Hand nehmen, und den Bogen häufig unterbrechen und wieder herstellen muß, ohne dabei so lange zu warten, daß

die Metallspitzen eine zu hohe Temperatur erlangen. Wenn zur positiven Elektrode eine Platinspitze und zur negativen eine Kupferspitze genommen, und dieselben zwischen die beiden Pole des Elektromagnets gebracht wurden, war die Erzeugung des Volta'schen Bogens zwischen diesen Polen mit einem scharfen Gezisch verbunden, während im umgekehrten Falle, wenn das Kupfer positiv und das Platin negativ war, die Detonationen entstanden, häufig begleitet mit einem Zerbrechen des Bogens. Dies rührt nun eben davon her, daß das Platin viel schneller als das Kupfer erhitzt wird, wenn man beide als Elektroden zur Erzeugung des Volta'schen Bogens anwendet, und de la Rive überzeugte sich, daß es zur Erlangung des Gezisches nöthig sei, daß die positive Elektrode bis zum anfangenden Schmelzen erhitzt werde, da sich ohne diese Bedingung nur eine Reihe von Detonationen hören ließ. Die Töne selbst aber entstehen wohl ohne Zweifel aus der Veränderung, welche der Magnet in der Molecularconstitution der Substanz der Elektrode oder in der höchst aufgelockerten Substanz, welche den Volta'schen Bogen bildet, hervorbringt.

Einige andere Beobachtungen de la Rive's über den Einfluß einer perpanenten Einwirkung des Magnetismus auf leitende Körper, durch welche unterbrochene elektrische Ströme geführt werden, sollen ihre Stelle im Art. Magnetismus finden. Hier wollen wir nur noch einige Erscheinungen hervorheben, welche größtentheils zu den mechanischen Wirkungen des elektrischen Stromes selbst gerechnet werden können. Es sind dies die Schwingungsbewegungen, welche der Strom in verschiedenen Körpern hervorruft.

De la Rive *) brachte auf einem Resonanzboden Drähte und Stäbe an, verschieden an Metall, Länge und Durchmesser. Dieselben konnten, wie auf einem Monochord, mehr oder weniger gespannt werden. Ueberdies war jeder Stab oder Draht, um den Einfluß des Magnetismus mit in Betracht ziehen zu können, so angeordnet, daß er durch die Axe einer Spule gehen konnte, die von einem dicken, mit Seide besponnenen Kupferdraht schraubenförmig umgeben war. Der mittelst eines Commutators (s. d. Art.) discontinuirlich gemachte Strom wurde bald durch den zum Versuche genommenen Metalldraht, bald durch den ihn umgebenden Schraubendraht geleitet. Bei eisernen Drähten und Stäben entstand ein Ton, der sich gleich blieb, mochte nun der discontinuirliche Strom gerade durch sie hindurchgehen, oder sie abwechselnd magnetisiren und entmagnetisiren, indem man ihn durch den Schraubendraht leitete. Den gehörten Ton vergleicht de la Rive mit dem eines Savart'schen gezahnten Rades. Derselbe ist mehr ein Geräusch, hervorgehend aus dem Stoße der Metalltheilchen, als ein musikalischer Ton. Es werden freilich auch musikalische Töne gehört, und zwar die harmonischen von demjenigen, welchen der Stab oder Draht durch Querschwingungen geben würde; allein diese entspringen aus Schwingungsbewegungen, welche das Metall erleidet, und sind kein directer Effect des elektrischen Stromes, welchem dasselbe ausgesetzt ist. Man kann sie zum Verschwinden bringen, wenn man den schwingenden Körper mit der Hand anfaßt, ohne daß dadurch das eigentliche Geräusch aufhört. Ist der Eisendraht angelassen, so giebt er, wenn er den elektrischen Strom leitet, einen weit stärkeren Ton, als wenn er durch Wirkung des Schraubendrahtes

*) Compt. rend. T. XX. p. 1287; Poggend. Ann. Bd. LXV S. 637.

abwechselnd magnetisirt und entmagnetisirt wird. Das Umgekehrte findet bei einem gehärteten Drahte statt. Dagegen giebt ein Stahldraht, den Strom leitend, nur einen sehr schwachen Ton, und unter Einfluß des durch den Schraubendraht gehenden Stromes einen weit stärkeren.

Die Art des Tones ist verschieden nach der Geschwindigkeit, mit welcher die discontinuirlichen Ströme einander folgen. Ist diese Folge sehr rasch, so ähnelt der Ton sehr dem Geräusch eines stark wehenden Windes. Platin-, Silber-, Kupfer-, Messing-, Argentan-, Blei-, Zinn- und Zinkdrähte geben alle wahrnehmbare, mehr oder weniger intensive Töne. Doch gaben Kupfer, Messing, Platin und Argentan nur dann einigermaßen intensive Töne, so lange sie keiner merklichen Spannung ausgesetzt waren. Das umgekehrte zeigt sich bei Blei, Zink und Zinn.

Die Länge des Drahtes hat keinen Einfluß auf die Art des Tones, sondern nur auf die Intensität desselben in sofern, als bei schwächerem Strome eine geringere Drahtlänge erforderlich ist, wenn der Ton merklich sein soll, falls es sich um den Ton handelt, den der Draht bei Leitung des Stromes giebt.

Der Ton, welchen verschiedene Metalle geben, wenn sie einen discontinuirlichen elektrischen Strom leiten, scheint nach de la Rive herzurühren von periodischen Verschiebungen der Molecüle, welche eine Art Reibung derselben an einander bewirken. Zur Hervorbringung dieser Vibrationen, die übrigens eben so wohl sichtbar als fühlbar sind, bedarf es elektrischer Ströme von großer Intensität, obschon es gerade nicht nöthig ist, daß sie von Säulen mit hoher Spannung herkommen. Eine Grove'sche Batterie von fünf großen Elementen reichte in den meisten Fällen zu. Eine merkwürdige Art von Schwingung wurde erhalten, wenn man den discontinuirlichen Strom durch einen mit Seide besponnenen Kupferdraht gehen ließ, der um eine Spule oder einen Glasbecher schraubenförmig aufgewickelt war. Der Ton war von viel sanfterem, weniger metallischem Klange, und zugleich weit tiefer als der, welcher durch Einfluß des Stromes auf einen gleich dicken, in die Schraube gelegten Draht hervorgebracht wurde.

Mit der Erzeugung von Schwingungen im innigen Zusammenhange steht denn nun auch jene Auflockerung und Fortführung von Theilchen zwischen Kohlen- oder Metallspitzen.

Die Schwingungsbewegung, welche beim Magnetisiren und Entmagnetisiren des weichen Eisens entsteht, werden wir im Art. Magnetismus nochmals in Betracht ziehen.

Der oben ausführlicher betrachtete Volta'sche Bogen ist keine primäre elektrische Lichterscheinung, sondern offenbar eine durch die Wärme vermittelte, da sie von glühenden Kohlen- oder Metalltheilchen hervorgebracht wird. Bei der experimentalen Behandlung der Frage, ob es ein primäres elektrisches Licht giebt, kommt es also darauf an, solche Fälle vorzugsweise ins Auge zu fassen, wo die durch den elektrischen Strom veranlaßte Wärmeentwickelung möglichst gering ist. Manche Phänomene der Reibungselektricität zeigen zwar ein höchst glänzendes elektrisches Licht mit einem Minimum von Wärme, aber es läßt sich hier nicht ohne Weiteres durch das Auge entscheiden, welcher Seite, ob der positiven oder negativen, das Licht eigentlich angehört. Im Art. Elektricität habe ich, gestützt auf gewisse Thatsachen, wahrscheinlich zu machen gesucht, daß die elektrische Lichterscheinung, falls man Ein elektrisches Fluidum annimmt, auf der negativen Seite

zur Entwickelung gelange, indem dasselbe hier hervorbreche, um nach der positiven Seite überzugehen. Neeff *) hatte diese Frage auf dem Wege der Beobachtung zur Entscheidung gebracht. Derselbe benutzte hierzu die Magnetelektricität (s. Induction, elektrische), d. h. die durch entstehenden und verschwindenden Magnetismus hervorgerufene Elektricität, welche sich, in Bezug auf Intensität und Quantität, leicht nach Belieben verstärken und schwächen läßt, deren Hauptvorzug, wie Neeff bemerkt, aber darin besteht, daß man die Polareffecte, welche beim Volta'schen Strome dem Experimentirenden unter der Hand verschwinden, indem sie sich schnell neutralisiren, bei ihr besser aus einander halten, und unvermischt zu einer bedeutenden Höhe steigern kann.

Die Beobachtung der Lichterscheinung geschah an dem von Neeff construirten Inductionsapparat (Magnetoelektromotor), indem hier die Einrichtung so getroffen war, daß der Strom zwischen einem Platinplättchen und einem Platindrahte, dessen conische Spitze die Ebene des ersten berührt, übergehen mußte. Während der Thätigkeit des Apparates ist die Kette abwechselnd geschlossen und geöffnet, je nachdem die Spitze das Plättchen berührt oder nicht. Den inducirenden Strom lieferte eine einfache galvanische Kette. Unter Anwendung einer Loupe, die etwa 5 — 10 mal vergrößert, sieht man nun alsbald, daß das Lichtphänomen immer am negativen Pol erscheint, also an der Platinspitze, wenn diese negativ ist, dagegen am Platinplättchen, wenn der Strom die umgekehrte Richtung hat.

Zur genaueren Unterscheidung des Details gebrauchte Neeff ein Plößl'sches Mikroskop mit 25 — 50facher Vergrößerung. Da unterschied er zwei verschiedene Lichtarten. Die erste besteht aus glänzend weißen aber unmeßbaren kleinen Pünktchen vom lebhaftesten Glanze, welche am Platin festsitzen, sei nun die Ebene des Plättchens oder die conische Spitze des Drahtes negativer Pol. Diese Lichtpunkte sind höchst feine Spitzen der rauhen Oberfläche, welche als solche concentrirtes Licht ausstrahlen, was man bei der Reibungselektricität Spitzenlicht nennt. Bei einer vollkommen polirten Nadel erscheint es daher nirgends als an der äußersten Spitze. Die andere Lichtart nennt Neeff Flamme, da sie einer schwach leuchtenden, stäten, violetten Flamme gleicht. Erscheint sie an der Spitze, so umgiebt sie diese als leuchtende Hülle, tritt sie aber am Platinplättchen auf, so liegt sie horizontal auf dessen Ebene. Das sichtbare Gesammtphänomen rührt stets vom negativen Pol her. Wird die Stromintensität allmälig geschwächt, so kann man von der violetten Flamme nichts mehr wahrnehmen. Je kleiner aber das Lichtphänomen ist, desto weißer, je größer, um so violetter erscheint es. Bei beträchtlicher Verstärkung der erregenden Elektricität wird die durch letztere entwickelte Wärme endlich bis zum Glühen gesteigert, und das primäre elektrische Licht verdeckt durch das Licht des Glühens und Verbrennens.

Die Thatsache, daß das Licht ausschließlich am negativen Pol auftritt, brachte Neeff auf die Vermuthung, daß die Wärmeentwickelung ausschließlich oder doch vorzugsweise der positiven Seite angehören möge. Daß die Wärmeerregung vorzugsweise von dieser Seite her stattfindet, ist bereits oben bei Betrachtung des Volta'schen Lichtbogens hervorgehoben. Man kann dies auf einfache Weise gewahr werden, wenn man nach de la Rive zwei in scharfe Spitzen auslaufende

*) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 414.

Eisencylinder mit den Poldrähten einer Säule gehörig verbindet und dieselben dann mit den Fingern beider Hände mit einander in Berührung bringt. Das mit dem negativen Pol verbundene Eisen fühlt sich noch ziemlich kalt an, während das positive schon sehr heiß ist. Neeff *) führt zur Bestätigung auch einige Versuche von Walker an. Dieser legte die Poldrähte einer aus 160 Daniell'schen Elementen bestehenden Kette oder Batterie kreuzweise so, daß sie sich nicht berührten, sondern noch einen kleinen Zwischenraum zwischen sich ließen. Sogleich ging ein glänzender Lichtbogen durch die dünne Luftschicht, und dabei zeigt sich die Erscheinung, daß der positive Draht von dem Kreuzpunkte ab bis zu seinem freien Ende rothglühend wurde, erweichte und sich umbog, während der negative Draht verhältnißmäßig kalt blieb. Walker tauchte ferner die Poldrähte in zwei Wassergefäße, worin Thermometer standen, und verband das Wasser in beiden Gefäßen durch einen capillaren Docht. Das, worin der positive Draht tauchte, zeigte immer eine höhere Temperatur als das andere. Eben hierher gehören einige Versuche des Marinelieutenants Tyrtow **). Nach Neeff ***) kann man hierüber einen einfachen Versuch in der Weise anstellen, daß man mit jedem Pol der Kette einen Draht verbindet, jeden dieser Drähte zwischen zwei Finger nimmt, und nun in raschen Wiederholungen den einen Draht mit dem anderen klopfend berührt, oder noch besser, wenn man den einen Draht sägeförmig vielfach einkerbt, und mit dem anderen oft und schnell senkrecht darüber hinfährt. Sehr bald wird dann der positive Draht so heiß, daß man ihn nicht mehr halten kann. Daher muß man die Hand, wenn man den letzteren Draht will glühen und schmelzen sehen, durch eine Hülle schützen. Der negative Draht hingegen erwärmt sich nur langsam.

Moigno ****) erzählt, daß er die Entstehung des Lichtes am negativen Pole im großem Maßstabe bei Hrn. Rumkorff gesehen habe. Man brachte in das Vacuum zwei Platinkugeln als Pole eines Inductionsstromes, der mittelst eines Masson'schen Rades erregt worden. Die negative Kugel war leuchtend und relativ kalt, die positive dunkel und relativ warm.

Neuerdings hat auch Osann *****) Untersuchungen über das Lichtphänomen angestellt.

Derselbe beobachtete die Erscheinung unter Anwendung von 5 kleinen Grove'schen Elementen an dem Neeff'schen Apparate. Wenn die conische Platinspitze die negative Elektrode bildet, sieht man (nach ihm) an der Berührungsstelle der Spitze und des Platinblättchens ein weißes Licht mit Roth durchsetzt, und an der Spitze einigermaßen Violettes, welches die Spitze abwärts, wie ein Mantel umgiebt. In diesem blauen Mantel sieht man gruppenweise sehr glänzende weiße Pünktchen sich bilden. Im Anfang erblickt man nur blauweißes Licht an der Spitze, nachher den blauen Mantel, und dann treten die weißen Pünktchen unterhalb desselben hervor. Es sieht aus, wie wenn die weißen Pünktchen von

---

*) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 425.

**) Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 85; Bullet. phys. math. de l'acad. de St. Petersb. T. V. p. 94.

***) Poggen. Ann. Bd. LXVI. S. 142.

****) Compt. rend. T. XXX. p. 359; Poggend. Ann. Bd. 81. S. 318.

*****) Poggend. Ann. Bd. LXXXIX. S. 600.

oben nach unten sich zögen. Ist der Strom stark, so wird diese eben beschriebene Lichterscheinung von einem gelben Saume umgeben, welcher den Eindruck macht, wie wenn er aus gelben in der Luft schwebenden Theilchen bestände. Osann fand, daß diese Erscheinung in einem bei weitem größerem Maßstabe hervortritt, wenn man sich statt des conisch zugespitzten Hämmerchens am Neeff'schen Apparate eines feinen Platindrahtes bedient. Ist letzterer die negative Elektrode, so sieht man an der Berührungsstelle desselben mit dem Platinblech weißes Licht, und längs der Oberfläche des Drahtes hinauf einen blauen ins Violette gehenden Lichtmantel sich bilden, der aber nicht im ersten Augenblick, sondern erst einige Zeit nachher eintritt. Wird der Strom umgekehrt, so verschwindet das blaue Licht und man sieht nur weißes Licht an der Spitze des Drahtes. Recht dünner Draht ist vorzugsweise geeignet zur Hervorbringung dieser Erscheinung.

Noch schöner gelingt dieser Versuch, wenn man anstatt Platindraht einen feinen Eisendraht (z. B. $^1/_{10}{}^{mm}$ dick) anwendet. Macht man das Eisen zur negativen Elektrode und schließt die Kette, so gewahrt man anfänglich nur eine Lichterscheinung. Das Glühen des Drahtes verhindert man durch Unterbrechung der Kette, so daß sich durch Oeffnen und Schließen blos Lichterscheinungen hervorbringen lassen. Ist der Draht positive Elektrode, so wird er beim Schließen der Kette sogleich glühend und es zeigt sich am Ende des Drahtes ein geschmolzenes Kügelchen.

Wenn man Platindraht als negative Elektrode anwendet und den Versuch längere Zeit fortsetzt, so bilden sich auf dem Platinblättchen unter dem Ende des Drahtes zwei Ringe einer schwarzen Substanz, von welchen der innere dunkler ist als der äußere. Wird der Strom umgewendet, so setzt sich schwarze Substanz auf der Oberfläche des Platindrahtes ab. Der Draht fand sich nach einiger Zeit von der Spitze nach oben verlaufend geschwärzt. Osann untersuchte diesen Draht in einer Glasröhre, ließ Wasserstoffgas über ihn hinwegstreichen, und da die Schwärzung verschwand und das Platin wieder metallisch hervortrat; so zweifelt er nicht, daß der schwarze Körper ein Platinoxyd sei. Während der Lichterscheinung verbreitete sich ein Geruch nach Ozon (s. d. Art.) und er hält es nicht für unwahrscheinlich, daß die Oxydation des Platins durch das Auftreten des Ozons bewirkt wurde.

Wenn man die beiden Poldrähte einer Säule in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure taucht, so sieht man an den Drahtenden Gasblasen aufsteigen, und die genauere Untersuchung zeigt, daß der Sauerstoff an dem mit dem positiven Pol, der Wasserstoff hingegen an dem mit dem negativen Pol verbundenen Drahte frei wird, falls nämlich beide Drähte aus einem nicht leicht oxydirbaren Metalle, z. B. Platin bestehen. Eine ähnliche Zerlegung in ihre ungleichartigen Bestandtheile erfahren auch die meisten anderen chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten, wenn sie Leiter der Elektricität sind; auf der Seite des positiven Pols wird der eine, auf der Seite des negativen der andere Bestandtheil frei. Hinsichtlich der Leichtigkeit aber, womit verschiedene Flüssigkeiten von dem elektrischen Strome zerlegt werden, zeigen sich beträchtliche Unterschiede. Reines Wasser erfordert den Strom einer starken galvanischen Kette, während Jodkalium, das in Wasser aufgelöst ist, schon durch ein einfaches nicht sehr starkes galvanisches Element eine Zerlegung erfährt.

Leichter als Wasser ist verdünnte Schwefelsäure zersetzbar. In beiden Fällen werden aber Sauerstoff und Wasserstoff in dem Verhältniß ausgeschieden, in welchem sie sich zu Wasser verbinden, so daß sie also, aufs Neue mit einander verbunden, wieder Wasser geben. Die Wasserzersetzung durch den galvanischen oder Volta'schen Strom wurde in England von Carlisle, in Deutschland von Ritter zuerst wahrgenommen *). Dazu kam im Jahre 1807 die von H. Davy entdeckte Thatsache, daß die Alkalien durch Einwirkung eines kräftigen Stromes in zwei ungleichartige Bestandtheile, nämlich in Sauerstoff und ein metallisches Element (Kalium, Natrium) zerlegt werden können.

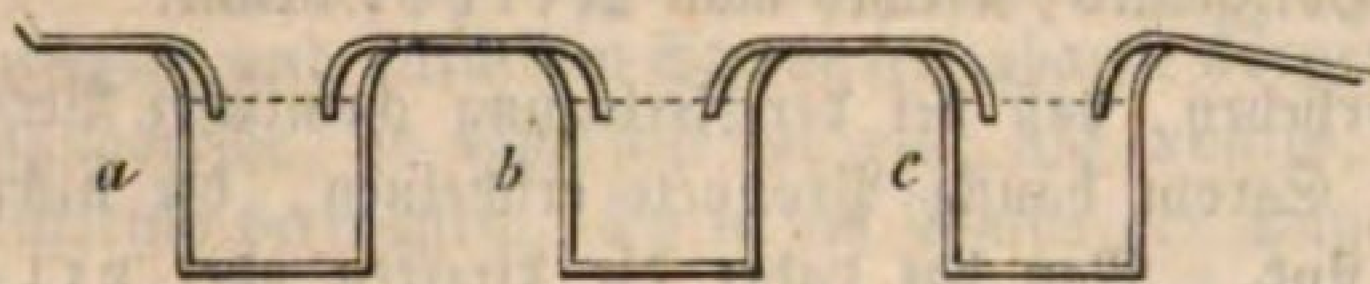
Wenn Oxyde durch den elektrischen Strom zerlegt werden, so erscheint der Sauerstoff wieder am positiven Pol, der andere Bestandtheil am negativen. Von leicht reducirbaren Metalloxyden bringt man gewöhnlich etwas in Pulverform auf ein Platinblech, das mit dem positiven Pol der Säule in Verbindung steht, und berührt dann das Pulver mit dem negativen Poldraht. Schwer reducirbare Metalloxyde werden mit etwas Wasser befeuchtet. Nach einiger Zeit erscheinen am negativen Pol kleine, glänzende Metallkügelchen. Bei der Zerlegung des Kali und Natron werden die ausgeschiedenen Metalltheilchen sogleich wieder (wegen ihrer großen Verwandschaft zum Sauerstoff) oxydirt. Man sucht deshalb das Metall in Verbindung mit Quecksilber, als Amalgam, zu gewinnen, indem man nach Seebeck ein Stückchen Kali aushöhlt, mit einem Tropfen Quecksilber füllt und auf das oben erwähnte Platinblech legt. Sobald man nun den negativen Poldraht in das Quecksilber taucht, wird das Kali zerlegt; der Sauerstoff erscheint am Platinblech, während sich das Kalium mit dem Quecksilber am negativen Drahtende zu einem Amalgam verbindet. Durch Destillation in Steinöl, welches aus Wasser- und Kohlenstoff besteht, kann dann das Kalium vom Quecksilber getrennt werden. Oder man gießt in ein Glasgefäß etwas Quecksilber, so viel, daß eine offene Glasröhre etwa 3 — 4 Linien in dasselbe eintaucht, und über das Quecksilber eine concentrirte alkalische Lösung. Ein Platindraht, der mit dem negativen Pol der Kette in Verbindung steht, wird darauf durch die Röhre in das Quecksilber eingesenkt, während man den positiven Poldraht mit der Lösung in Berührung bringt. Das durch den Strom ausgeschiedene Kalium verbindet sich dann ebenfalls mit dem Quecksilber, wobei die Temperatur sehr merklich steigt, zu einem Amalgam, das nach dem Erkalten als eine starre Masse erscheint.

Bei der Zerlegung der Chlor-, Jod- und Brommetalle erscheint das Metall wieder am negativen, Chlor, Jod und Brom dagegen am positiven Pol.

Salze, wie schwefelsaures Kali und Natron oder schwefelsaure Magnesia, werden durch den galvanischen Strom in der Weise zerlegt, daß die Säure am positiven Pol, die Basis am negativen auftritt. Zur Anstellung einiger hierher gehöriger Versuche benutzt man eine doppelschenklige Glasröhre, in welche man die durch Lakmustinctur violett oder durch Veilchensyrup blau gefärbte Salzlösung füllt. Taucht man in den einen Schenkel den positiven, in den anderen den negativen Poldraht, so wird die Flüssigkeit an dem positiven Draht, wo die Säure erscheint, roth, am negativen aber grün gefärbt. Vertauscht man die beiden Drähte mit einander, so nimmt die Flüssigkeit zunächst ihre ursprüngliche Färbung wieder an; alsdann erscheint die rothe Farbe in demjenigen Schenkel, wo vorher

*) Gilb. Ann. Bd. VI. S. 468.

die grüne war, und umgekehrt diese in dem anderen. Gießt man eine Salzlösung, z. B. eine Lösung von Glaubersalz, in zwei nebeneinander stehende Gefäße, welche durch ein feuchtes Asbestgewebe oder einen capillaren Docht oder durch eine mit der Flüssigkeit gefüllte, gebogene Röhre verbunden sind, und taucht nun in das eine Gefäß den positiven, in das andere den negativen Poldraht, so erscheint die Säure nach einiger Zeit in dem Gefäße, worin sich der positive Poldraht befindet, die Basis im anderen. Die Zersetzung geschieht natürlich in diesem Falle ganz so wie im vorhergehenden, wo die Flüssigkeit in demselben Gefäße zwischen den Poldrähten eingeschaltet ist. Man kann statt zwei auch drei Gefäße a, b, c mit der Salzlösung füllen und durch feuchtes Asbestgewebe oder sonst wie durch die Flüssigkeit selbst eine Communication zwischen denselben herstellen.



Taucht man den positiven Poldraht in das Gefäß a, den anderen in c, so sammelt sich in jenem die Säure, in diesem die Basis. In dem mittleren Gefäße giebt sich aber während der Thätigkeit des Stromes weder freie Säure, noch freie Basis zu erkennen. Davy *) setzte die mittlere von 3 Porzellanschalen durch Glasröhren, die mit feuchtem Thon angefüllt waren, mit den äußeren in Verbindung, und brachte in dieselbe eine Ammoniakauflösung. Von den äußeren Schalen wurde die eine mit Wasser, die andere mit einer Lösung von Glaubersalz (schwefelsaurem Natron) gefüllt, dann in jene der positive und in diese der negative Poldraht eingeführt. Die Säure erschien wieder am positiven Pol, ohne daß das Ammoniak eine Veränderung erlitten hatte. Man könnte nun annehmen, daß die Säure, durch den Strom aus dem Salze ausgeschieden, ihren Weg durch die Ammoniklösung zum positiven Pol hin genommen habe, ohne sich dabei mit dem Ammoniak, das doch eine starke Affinität zu ihr hat, zu verbinden. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß ein Theil der Salzlösung in die anderen Gefäße übergetreten ist, so daß dieselbe zwischen beiden Drähten ein zusammenhängendes Ganze bildete. Faraday fand auch wirklich nach einiger Zeit unzersetztes Salz in den Gefäßen. Füllt man die äußeren Gefäße mit der Salzlösung, das mittlere Gefäß mit Barytwasser, so wird hier unlöslicher schwefelsaurer Baryt gefällt, wenn die Verbindung der Gefäße durch feuchten Asbest oder dergleichen vermittelt ist. Wenn man alle drei Gefäße (s. obige Figur) mit derselben Salzlösung füllt, ihre Verbindung aber nicht in der bisherigen Weise durch die Flüssigkeit selbst, sondern durch Metalldrähte bewerkstelligt, so erscheint nun nicht mehr in dem Gefäße a die Säure und in c nur die Basis; man bemerkt vielmehr beide Bestandtheile in jedem Gefäße, aber doch immer so, daß die Säure auf der Seite des positiven, die Basis auf Seite des negativen Pols hervortritt. Die Erklärung hiervon wird sich weiter unten im theoretischen Theil dieses Artikels finden.

Wenn Auflösungen von Alkalien und alkalischen Salzen, z. B. eben von schwefelsaurem Kali oder Natron, zerlegt werden, so erscheinen außer den angeführten Stoffen auch noch die Bestandtheile des Wassers in Gasform an den entsprechenden Polen, und zwar der Sauerstoff an dem positiven, der Wasserstoff an dem negativen Pol. Bei anderen Salzen, z. B. bei einer Lösung von schwefel-

*) Gehl. Journ. d. Phys. u. Chem. Bd. V. S. 1 u. 2.

saurem Kupferoxyd (Kupfervitriol) wird am negativen Pol nicht die Basis, sondern das Metall selbst, also hier das Kupfer ausgeschieden. Dasselbe findet bei einer Auflösung von schwefelsaurem Zinkoxyd oder Zinkvitriol statt. In diesen Fällen erscheint nicht zugleich Wasserstoff am negativen Pol. Essigsaures Bleioxyd giebt am positiven Pol Bleihyperoxyd, am negativen metallisches Blei. Auch verschieden organische Verbindungen werden durch den Strom zerlegt, und manche für hypothetisch gehaltene Radicale sind auf diese Weise isolirt worden. So erhielt Kolbe *) durch die elektrochemische Zersetzung der Essigsäure, die durch die Formel $HO\ (C_2 H_3)\ C_2 O_3 = C_2 H_3 + 2\ CO_2 + 2\ HO$ dargestellt werden kann, das Radikal $C_2 H_3$ des Holzgeistes, welches man Methyl nennt.

Wir wollen gleich hier hervorheben, daß bei der Zerlegung chemischer Verbindungen durch den elektrischen Strom häufig Producte erscheinen, die nicht unmittelbare Wirkungen desselben sind. Man hat daher die directen oder primären Zerlegungen von den indirecten oder secundären wohl zu unterscheiden. So werden z. B. reines Wasser und Salzsäure (Chlorwasserstoff) direct durch den elektrischen Strom zerlegt, indem der Wasserstoff am negativen, der Sauerstoff und das Chlor am positiven hervortritt. Bei einer wässerigen Jodkaliumlösung erscheint Jod am positiven, Wasserstoff am negativen Pol, und zwar letzterer durch einen secundären Proceß, indem das hier durch den Strom direct ausgeschiedene Kalium sich mit dem Sauerstoff des Wassers zu Kali verbindet, wobei natürlich Wasserstoff frei wird. So ist auch wahrscheinlich, daß bei wässerigen Lösungen von schwefelsauren Alkalien das Alkalimetall durch den Strom direct am negativen Pol ausgeschieden wird, wo es sich dann auf Kosten des Wassers wieder oxydirt und dadurch eine Entwickelung von Wasserstoffgas veranlaßt. Wir werden auf diese secundären Zersetzungsprocesse, die vorzugsweise bei wässerigen Lösungen eintreten, weiter unten noch einmal zurückkommen. In anderen Fällen scheint aber das Wasser eine primäre Zerlegung zu erfahren. Bei einer Ammoniaklösung z. B. vereinigt sich unter Umständen der Sauerstoff des direct zersetzten Wassers am positiven Pol mit dem Wasserstoff des Ammoniaks, was hier indirect die Entwickelung von Stickstoffgas zur Folge hat. Andere secundäre Producte können entstehen durch die Wirkung zwischen dem ausgeschiedenem Stoffe und der Substanz des Poles, der die Flüssigkeit berührt. Macht man z. B. Kohle in verdünnter Schwefelsäure zum positiven Polende, so erscheinen an diesem statt des Sauerstoffs, Kohlensäure und Kohlenoxyd, und zwar durch Einwirkung des ersteren auf die Kohle.

Zusammengesetzte Stoffe, welche durch den elektrischen Strom direct zerlegt werden, nennt man nach dem Vorschlage Faraday's Elektrolyte (von ἤλεκτρον und λυω, ich löse) und den Vorgang der Zerlegung Elektrolyse. Daß Faraday die Pole Elektroden nennt, ist bereits erwähnt. Er versteht darunter überhaupt jede Substanz oder vielmehr Fläche, sei dieselbe von Metall oder sonst einem Stoffe, welche in der Richtung des elektrischen Stromes an den zersetzt werdenden Körper grenzt. Gewöhnlich sind es also die Enden der Poldrähte, welche die betreffende Flüssigkeit berühren. Um den Elektroden, durch welche die Elektricität zur Flüssigkeit ein und austritt, eine unveränderliche Beziehung zu geben, denkt er sich den Elektrolyten so gestellt, daß der durch ihn

*) Ann. d. Chemie. Bd. LXIX. S. 260.

gehende elektrische Strom in der Richtung von Ost nach West, dem scheinbaren Laufe der Sonne gemäß, geht, und nennt dann die östliche Elektrode oder den sogenannten positiven Pol Anode (ἀνα, aufwärts, ὁδος, Weg; der Weg vom Sonnenaufgang) und die westliche oder den negativen Pol Kathode (κατα, niederwärts, und ὁδος; der Weg zum Sonnenuntergang). Die Bestandtheile des Elektrolyten, welche durch den Strom ausgeschieden werden, nennt er Jonen (von ἰόν, gehend) und zwar den an der Anode erscheinenden Anion (ἀνιον, das Hinaufgehende), den anderen an der Kathode aber Kation (κατιον, das Herabgehende).

Beziehen wir die beiden ungleichartigen Bestandtheile eines chemisch zusammengesetzten und durch den Strom zerlegbaren Körpers auf ihre Stellung in der Spannungsreihe, so läßt sich der eine als positiv, der andere dagegen als negativ elektrisch betrachten. So ist im Wasser der Sauerstoff, in der Salzsäure das Chlor der elektronegative, der Wasserstoff aber der elektropositive Bestandtheil (s. Basen). Nun wird jener bei der Zerlegung dieser Verbindungen durch den Strom am positiven, dieser am negativen Pol der Kette ausgeschieden. Dasselbe gilt in allen anderen Fällen. Bei verdünnter Schwefelsäure ($H + SO_4$) z. B. erscheint der Wasserstoff gleichfalls am negativen Pol, das elektronegative Radical SO_4 am positiven. Es leuchtet von selbst ein, daß man die chemische Wirkung des elektrischen Stromes auch benutzen kann, um die Richtung des letzteren, falls dieselbe nicht schon anderweitig bestimmt sein sollte, zu ermitteln (s. Spannungsreihe, galvanische).

Besteht der positive Poldraht aus einem oxydirbaren Metall, z. B. aus Zink, so verbindet sich dieses mit dem an ihm ausgeschiedenen Sauerstoff oder bei Anwendung verdünnter Schwefelsäure mit dem elektronegativen Radical SO_4, wodurch das Zink in schwefelsaures Zinkoxyd (Zinkvitriol $= Z + SO_4$) verwandelt wird. Dieselbe Zersetzung, wie die zwischen den Polen eingeschaltete Flüssigkeit, erleidet nun auch der flüssige Leiter, womit die Zellen der Kette gefüllt sind. Ist dieser Leiter z. B. verdünnte Schwefelsäure und bestehen die metallischen Erreger aus Zink und Kupfer, so erscheint Wasserstoff am negativen Erreger (Kupfer), das Radical SO_4 aber am positiven (Zink), so daß dieses während der Thätigkeit der Kette durch Bildung von Zinkvitriol allmälig verzehrt wird. Das in den Schließungsbogen der Kette eingeschaltete Gefäß, worin die zu zersetzende Flüssigkeit sich befindet, und in welche die gleichbeschaffenen Poldrähte eintauchen, nennt man auch im Gegensatze zu den Zellen der Kette selbst, Zersetzungszelle.

Die elektrochemischen Erscheinungen erfordern nicht immer die Anwendung einer zusammengesetzten Kette, sondern treten in gar vielen Fällen schon bei einem einzigen galvanischen Element deutlich zu Tage. Man wickele um einen Zinkstreifen einen Kupfer- oder Platindraht, und tauche dann die auseinanderstehenden Enden beider Metalle in eine Lösung von Kupfervitriol. Bald wird man bemerken, daß an dem negativen Gliede sich metallisches Kupfer aus der Vitriollösung abgesetzt hat. Bei einer Lösung von Zinkvitriol würde sich unter gleichen Umständen metallisches Zink absetzen. Ueberhaupt, wo zwei ungleichartige Metalle in einer chemisch zusammengesetzten Flüssigkeit sich berühren, haben wir eine einfache durch die Flüssigkeit geschlossene Kette, in welcher ein elektrischer Strom von dem einen Metall durch die Flüssigkeit zur anderen übergehen und einen bestimmten chemischen Effect erzeugen wird.

Man wird wohl schon erkannt haben, daß durch die Zerlegungen, welche der galvanische Strom bewirkt, andererseits auch wieder chemische Verbindungen befördert werden. So verbindet sich Zink sehr leicht mit dem aus dem Wasser ausgeschiedenen Sauerstoff, wenn es den positiven Pol einer Kette bildet. Chemisch reines Zink löst sich nur sehr langsam oder gar nicht in verdünnter Schwefelsäure oder Wasser auf; berührt man es aber mit einem Stück Silber, so bildet sich rasch schwefelsaures Zinkoxyd, während am Silber lebhaft Wasserstoffgas entwickelt wird. Aehnliches ereignet sich, wenn man in Salzsäure getauchtes Zink mit einem Gold- oder Platinplättchen berührt. Abweichend von dem chemisch reinen und amalgamirten Zink verhält sich das gewöhnliche (käufliche); dieses löst sich nämlich leicht in verdünnter Schwefelsäure, da seine fremdartigen Gemengtheile, so namentlich Eisen und Kohlenstoff, überall wo sie mit dem Zink zugleich die Flüssigkeit berühren, elektrische Ströme erregen, die gerade so wie in den vorerwähnten Fällen die chemische Verbindungsfähigkeit des Zinks steigern. Diese partiellen elektrischen Ströme sucht man jedoch in der galvanischen Kette selbst zu beseitigen, schon deshalb, weil durch sie ein von der Thätigkeit der Kette unabhängiger Zinkverlust herbeigeführt wird. Man erreicht den Zweck durch Amalgamiren der Zinkplatten, wodurch diesen eine gleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit ertheilt wird. Das Amalgamiren geschieht aber gewöhnlich in der Weise, daß man Quecksilber auf den mit verdünnter Schwefelsäure gereinigten Platten einreibt.

Man erkennt aber auch weiter, daß ein Metall, welches für sich in einer Säure oder einer anderen Flüssigkeit auflösbar ist, dadurch, daß man es zum negativen Pol der Kette macht, vor dem chemischen Einflusse geschützt werden kann. Wenn z. B. die beiden Poldrähte einer Kette aus Zink bestehen und in mit Schwefelsäure gemischtes Wasser getaucht werden, so wird der positive Poldraht in Folge der Zersetzung der Flüssigkeit zwar rasch verzehrt, nicht aber der negative, an dem sich der Wasserstoff abscheidet. Taucht man eine Kupfer- und Zinkplatte in Salzwasser, so werden beide oxydirt; löthet man sie aber zusammen, so wird das Zink viel schneller, als für sich, oxydirt, während das Kupfer, das negative Glied der Kette, gar nicht angegriffen wird. Hierauf beruht H. Davy's *) Vorschlag, die kupfernen Beschläge der Schiffe durch Zinkplatten, welche mit denselben zusammengelöthet sind, oder auch durch Eisen vor der Zerstörung durch das salzige Meerwasser zu schützen. Nach Davy ist ein Stück Zink, welches so groß wie der Kopf eines kleinen Nagels ist, genügend, um 40 — 50 Quadratzoll Kupfer vor dem Anfressen zu bewahren. Aehnlich wie Kupfer bleibt Eisen durch Berührung mit Zink von den chemischen Angriffen befreit, und dieses Mittel hat man auf den Vorschlag von Althaus **) mit Erfolg benutzt, um die eisernen Pfannen, worin die Salzsoole versotten wird, vor dem Anfressen durch die letztere zu bewahren. Hier werden die Ecken der Pfannen durch ein Brett abgeschnitten und die auf diese Weise gebildeten Zwischenräume mit Zink ausgegossen. Die Flüssigkeit sickert dann in hinreichender Menge durch das Holz zum Zink hindurch, um die entstandene einfache Kette zu schließen. Das Zink darf deshalb nicht in den Pfannen selbst

*) Phil. Trans. for 1824. p. 250, daraus in den Ann. de Chim. T. XXIX. p. 187 und Phil. Trans. for 1825. T. II. p. 325.

**) Poggend. Ann. Bd. XLVII. S. 213.

angebracht werden, weil das gebildete Zinkvitriol sich in der Salzlösung verbreiten würde. Einige andere hierher gehörige Erfahrungen sind, daß gelöthete Gefäße zuerst an den Löthstellen matt werden, und daß bleierne Röhren, welche Kalk enthaltendes Wasser führen, nur an solchen Stellen durch abgesetzten Kalk verstopft werden, wo sie zusammengelöthet sind. Viele Metalle, wie Eisen, Blei, Kupfer, Silber werden von der Salpetersäure oxydirt und aufgelöst; berührt man sie aber innerhalb dieser Flüssigkeit mit einem elektropositiven Metall, z. B. mit Zink, wodurch sie eine negativ elektrische Ladung empfangen, so wird der auflösende Bestandtheil der Flüssigkeit nicht an ihnen, sondern am positiven Erreger ausgeschieden, wodurch sie selbst vor dem chemischen Einflusse der Säure bewahrt bleiben. Eben so werden Gold und Platin in Berührung mit Zink gegen die Auflösung durch Königswasser (Salpeter-Salzsäure) geschützt.

Wenn man den Strom einer einfachen Kette, z. B. einer Zinkkupferkette, längere Zeit durch eine Auflösung von Kupfervitriol gehen läßt, so schlagen sich die ausgeschiedenen Kupfertheilchen auf der Kupferplatte, welche das negative Glied der Kette bildet, allmälig dergestalt nieder, daß eine zweite künstliche Kupferplatte entsteht, auf welcher sich die feinsten Erhabenheiten und Vertiefungen der ersten in größter Schärfe ausgeprägt finden. Und auf ähnliche Weise wie Kupfer können auch andere Metalle, wie Gold, Platin aus einer passenden Auflösung durch den elektrischen Strom niedergeschlagen werden. Hierauf beruht die Galvanoplastik (s. d. Artikel).

Wenn man ein polirtes Silber- oder Platinplättchen, auf dem sich irgend eine metallische Auflösung, z. B. essigsaures Blei oder Kupfer befindet, mit dem einen Poldraht einer Kette in Verbindung setzt, während man das zugespitzte Ende des anderen Poldrahtes dem Plättchen gerade gegenüber mit der Flüssigkeit in Berührung bringt, so bilden die Producte der elektrochemischen Zerlegung mehrere concentrische Farbenringe, deren Mittelpunkt durch jene Drahtspitze bezeichnet ist. Diese Ringe, von Nobili zuerst genauer untersucht, sind bekannt unter dem Namen der Nobili'schen Farbenringe. Nach Fechner *) lassen sich solche Ringe schon erhalten, wenn man auf ein Silberplättchen einige Tropfen essigsaures Bleioxyd bringt und dann mit der Spitze eines Zinkstäbchens in der Mitte der Flüssigkeit das Silber kurze Zeit berührt. Ausführliches über diesen Gegenstand findet man in dem Artikel Farbenringe Nobili's.

Durch Anwendung schwacher Ströme, wie sie Ketten aus zwei Flüssigkeiten und einem Metall liefern, ist es Becquerel **) gelungen, auf elektrochemischem Wege Verbindungen im krystallisirten Zustande darzustellen, von denen manche den in der Natur vorkommenden vollständig entsprechen. Wir wollen Becquerel's Verfahren hier durch einige der von ihm gegebenen Beispiele erläutern.

In den einen Schenkel einer Uförmig gebogenen Glasröhre, deren Biegung durch einen Asbestpfropfen oder besser mit angefeuchtetem feinem Sand oder Thon ausgefüllt war, wurde eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd gebracht, in den anderen aber eine Kochsalzlösung. Beide Flüssigkeiten wurden dann durch einen

---

*) Schweigg. Journ. Bd. LV. S. 442.

**) Traité de l'ectricité etc. T. III.; Ann. de chim. et phys. T. XLI. p. 5; Poggend. Ann. Bd. XVI. S. 306.

hineingestellten Kupferstreifen verbunden, und die Oeffnungen der Röhre verkittet. Das in die Kupferlösung getauchte Ende, als negativer Pol, bekleidete sich bald mit metallischem Kupfer, und es ward Salpetersäure frei, die, zum Theil in diesem Schenkel bleibend, zur Bildung eines Salzes beitrug. Im anderen Schenkel der Röhre wurde das Kupfer rasch angegriffen; eine Portion Chlor von zersetztem Chlornatrium begab sich auf das oxydirte und positiv gewordene Kupfer, und bildete mit diesem ein Oxychlorür, das sich mit dem Chlornatrium verband. Nach und nach krystallisirten wirkliche Tetraëder auf dem Streifen, die aber erst nach Verlauf von einem Jahre die Größe von 2 bis 3 Millimeter erreichten. Die Tetraëder erlitten sonderbare Farbenveränderungen, hielten sich in der Luft unverändert, wurden aber vom Wasser zersetzt, indem sie Kupfer-Oxychlorür fallen ließen. Das Gelingen dieses Versuches ist nach Becquerel davon abhängig, wie stark die Röhre in der Biegung verstopft ist. Die Flüssigkeiten dürfen sich nicht merklich mischen, aber doch muß der Sauerstoff noch zum positiven Pol übergeführt werden können. Dann ist es auch nöthig, daß das in die Kochsalzlösung getauchte Kupferende sich oxydire. Ein stärkerer und mit keiner Metallreduction verbundener Strom ist erfolglos. Mit demselben Apparate erhielt Becquerel auch Doppel-Jodüre und Doppel-Bromüre.

Nach einem zweiten Verfahren befestigte Becquerel ein Stück Anthracit oder Kohle mittelst Silberdraht an einem Silberstreifen und stellte diesen in eine Röhre, die concentrirte Salzsäure enthielt. Die Röhre wurde verschlossen bis auf ein kleines Loch, das zum Entweichen des frei werdenden Gases diente. Das Silber nun, als der positive Pol der Kette, bemächtigte sich des Chlors der Salzsäure, und der Wasserstoff derselben ging zur Kohle, mit ihr Kohlenwasserstoffgas bildend, welches entwich, und die Röhre zertrümmert haben würde, wenn man ihm keinen Ausweg gelassen hätte. An dem Silber bildete sich Chlorsilber, in Octaëdern krystallisirt, wie das natürliche.

Zur Erzeugung von Schwefelmetallen gebrauchte Becquerel *) einen Apparat, der aus zwei geraden offenen Röhren besteht, deren unterer Theil durch Thon, angefeuchtet mit einer leitenden Flüssigkeit, verstopft ist. Auf den Thon werden bis zu einer gewissen Höhe die Lösungen gegossen, aus deren Wirkung auf einander und auf einen hineingestellten Metallbogen, der sie verbindet, die neuen Gebilde hervorgehen sollen. Die Schließung der Kette ist durch eine Flüssigkeit in einer größeren Röhre vermittelt, in welche die kleineren Röhren hineingestellt sind. Der Thon hat hier den Zweck, das Vermischen der Flüssigkeiten möglichst zu verlangsamen, damit die Verbindungen Zeit haben Krystallform anzunehmen.

Zur Bildung von Schwefelsilber gießt man nun nach Becquerel in die eine Röhre eine gesättigte Lösung von salpetersaurem Silberoxyd und in die andere eine Lösung von schwefelwasserstoffsaurem Kali, welches, damit die Wirkung nicht zu stark werde, zum Theil von der Luft zersetzt sein muß. Beide Flüssigkeiten verbindet man durch einen Silberstreifen. Die Silberlösung wird nun allmälig zersetzt; das in sie getauchte Ende des Streifens, als der negative Pol überzieht

*) Ann. de chim. et phys. T. XLII. p. 225 u. T. XLIII. p. 131; Poggend. Ann. Bd. XVIII. S. 143.

sich mit metallischem Silber, während an der anderen Seite sich Wasser und Schwefelsilber bilden, von denen das letztere sich mit einer gewissen Menge Schwefelkalium verbindet. Dann bildet sich durch Einwirkung der Salpetersäure schwefelsaures Kali und das Schwefelsilber bleibt unangegriffen, so lange die zu ihm gelangte Salpetersäure nicht in hinreichender Menge da ist. Während dieses Vorganges verdampft die Flüssigkeit zum Theil, und es bleibt auf dem Boden der Röhre über dem Thon nur eine teigige Masse, inmitten welcher das Schwefelsilber in schönen oktaëdrischen Krystallen anschießt, nicht blos auf dem Silberstreifen, sondern auch an den Wänden der Röhre. Diese Krystalle, eben so aussehend wie die natürlichen, sind streckbar unter dem Hammer, und haben eine bleigraue Farbe und matte Oberfläche. Nimmt man statt der Silberlösung im vorigen Versuche eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd, und statt des Silberstreifens einen Kupferstreifen, so bildet sich Schwefelkupfer.

Becquerel betrachtet hiernach noch verschiedene Fälle, wo das positive Metall der galvanischen Kette durch die Reaction seines Oxyds zur Bildung von Verbindungen beiträgt *).

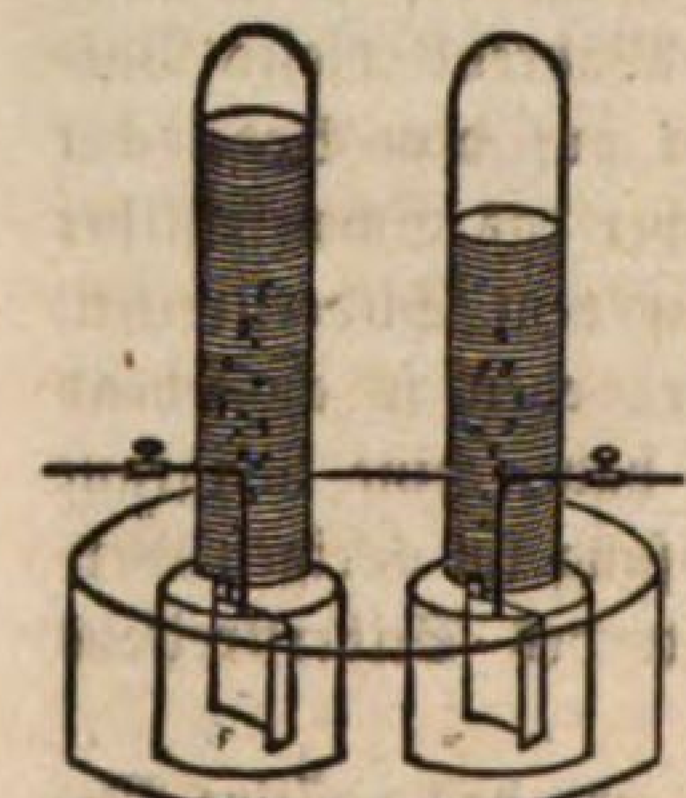
Als Beispiel einer durch den elektrischen Strom veranlaßten, aber doch auf Grund eines secundären Processes zu Stande gekommenen chemischen Verbindung sei hier noch der Bildung von Chlorstickstoff erwähnt, die stattfindet, wenn man der Zersetzungszelle einer galvanischen Kette durch eine poröse Scheidewand zwei Abtheilungen gegeben und beide mit einer Lösung von Salmiak (chlorwasserstoffsaurem Ammoniak) gefüllt hat. Am negativen Pol erscheint Wasserstoff und Ammoniak, am positiven freie Salzsäure und Chlorstickstoff, letzterer in gelben ölartigen Tropfen. Hier wird durch die Wirkung des Stromes am positiven Pole Chlor ausgeschieden, das durch seine Verbindung mit dem Wasserstoff des Salmiaks aus diesem eben die Bildung von Chlorstickstoff veranlaßt. Damit letzterer sich nicht in größerer Menge anhäufe, wodurch leicht eine starke Explosion herbeigeführt werden könnte, bringt man nach Böttger auf die Flüssigkeit, die die positive Polplatte umgiebt, eine dünne Schicht Terpentinöl, welche die außerordentlich kleinen Tröpfchen Chlorstickstoff, sobald sie mit ihr in Berührung kommen, explodiren macht.

Die Wasserzersetzung durch den galvanischen Strom erhielt eine besondere Wichtigkeit, als Faraday in ihr ein geeignetes Mittel zur Bestimmung der quantitativen Beziehung zwischen Strom und elektrochemischem Proceß erkannte. Mit den Polen der Kette werden hier zwei Platinplatten verbunden, welche in die Zersetzungsflüssigkeit tauchen, so daß an der einen Platte der Sauerstoff, an der anderen der Wasserstoff zur Entwickelung gelangt. Außerdem ist die Einrichtung so getroffen, daß man beide Gase entweder mit einander gemengt oder getrennt auffangen und messen kann. Eine solche Vorrichtung nennt man Volta-Elektrometer oder meist kurz Voltameter. Diesem von Faraday eingeführten **) Instrumente wurde von Poggendorff ***) eine verbesserte Einrichtung gegeben. Um die beiden Gase getrennt aufzufangen, bedient man sich des nachstehenden Apparates.

*) Poggend. Ann. Bd. XVIII. S. 147.
**) Poggend. Ann. Bd. XXXIII. S. 316.
***) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 277.

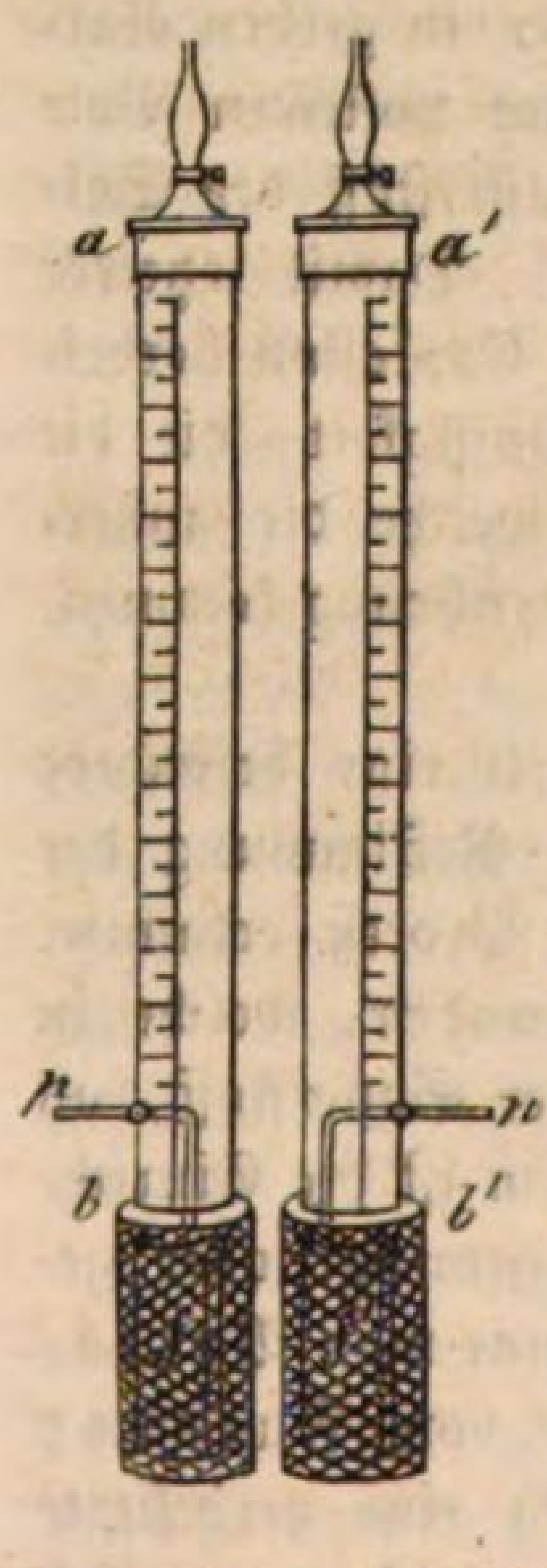
Zwei unten offene und getheilte Glascylinder stehen in zwei Thoncylindern von etwa 3 Zoll Höhe, worin Sförmig gekrümmte Platinplatten von ungefähr 2 Zoll Länge und 1 Zoll Breite, sich befinden. An jede der letzteren ist ein Platindraht gelöthet, welcher zur Seite heraustritt und durch eine Klemmschraube mit dem Schließungsdraht einer Säule verbunden werden kann. Die Füllung der Röhren geschieht, indem man das verschlossene Ende nach unten hält, bis zum oberen Rande voll gießt, ein Scheibchen von Tafelkautschuck oder angefeuchteter Pappe darauf legt, dann umkehrt und unter der Flüssigkeit (im weiteren Gefäße) den Verschluß entfernt. Beim Versuche kehren die Platten ihre breiten Seiten einander zu.

I.



Nach Poggendorff kann man statt der Thongefäße mit gleichem Vortheil ein Futteral von Drahtnetz, Haartuch oder Leinwand gebrauchen, da solche Gewebe unter einer Flüssigkeit die Gase vollständig zurückhalten, ohne dem elektrischen Strome einen erheblichen Widerstand darzubieten. Nur ist bei Anwendung von dergleichen Geweben die Füllung der Röhren in anderer Weise vorzunehmen. Dieselben (Fig. II.) müssen nämlich oben mit einem Hahn versehen sein, und nachdem sie bis etwas unterhalb p n in die Flüssigkeit getaucht worden, durch Aufsaugen mit dieser gefüllt werden. Damit dabei nichts von der Flüssigkeit in den Mund komme, ist oberhalb des Hahnes eine kugelförmige Erweiterung angebracht. Der zur Auffangung des Wasserstoffgases bestimmten Röhre kann man einen doppelt so großen Querschnitt als der anderen geben.

II.



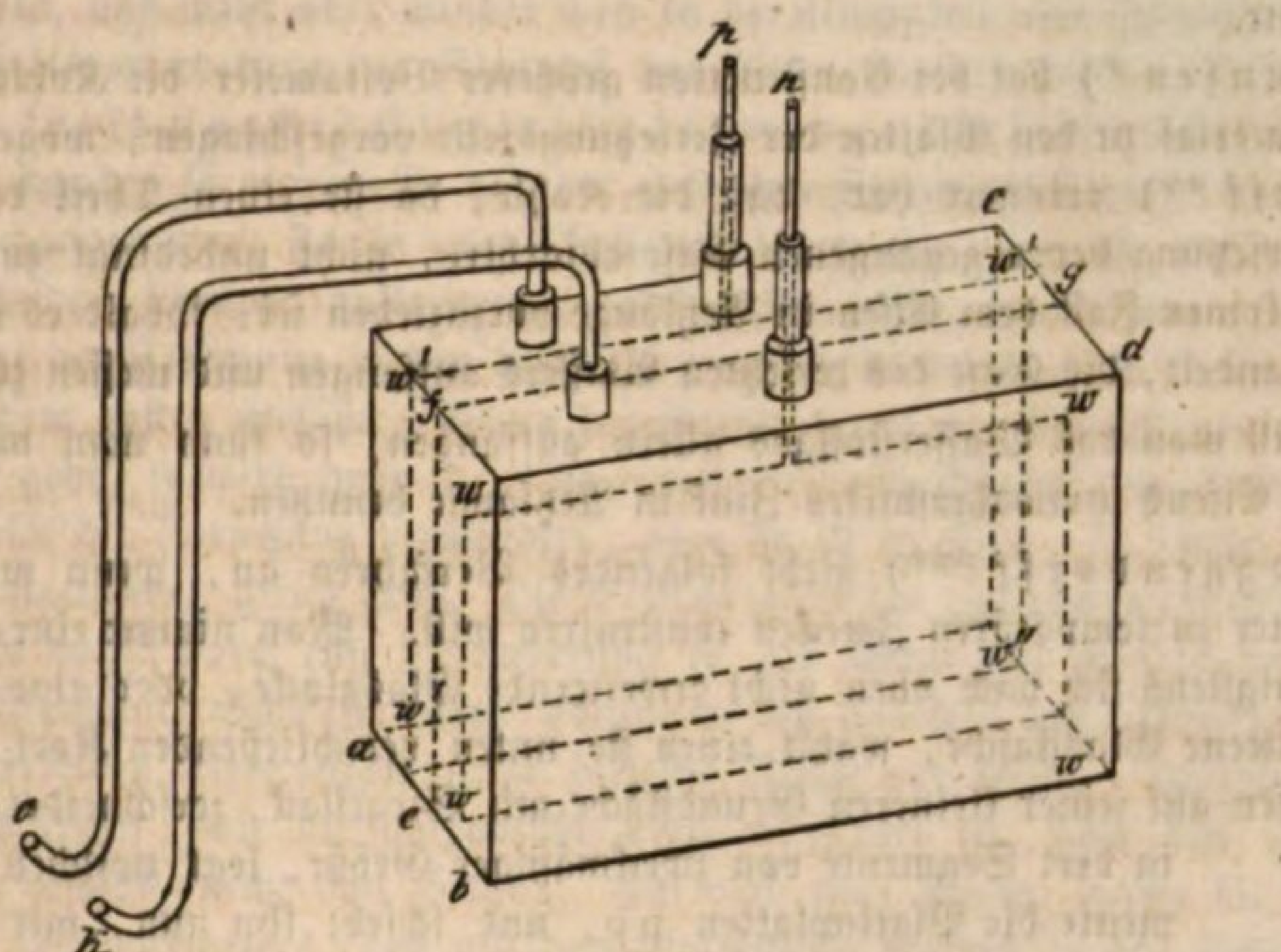
Zur getrennten Auffangung sehr großer Mengen der Gase empfiehlt Poggendorff *) umstehenden Apparat. Derselbe besteht in der Hauptsache aus einem porösen Thonkasten von parallelepipedischer Gestalt a b c d, 6 Pariser Zoll lang, 6 hoch und 2 breit, der seiner Länge nach durch eine dünne Thonwand e f g in zwei Zellen getheilt wird, unten ganz offen ist, und oben für jede Zelle zwei Durchbohrungen besitzt, die eine, um den Stiel der Polplatte p oder n durchzulassen, die andere, um die gekrümmte Entbindungsröhre o oder k aufzunehmen. Die Polplatten w w, w w' haben ganz die Größe, welche die Zellen zulassen, und ihre Stiele sind von Glasröhren umschlossen, die mittelst Korkstöpsel in den genannten Oeffnungen befestigt sind. Dieser Kasten wird als Gasometer in eine parallelepipedische Wanne von glasirtem Steingut gestellt, die solche Höhe hat, daß man ersteren einen bis zwei Zoll hoch mit der Flüssigkeit bedecken kann. Die gekrümmten Entbindungsröhren führen in eine pneumatische Wanne, wo die Auffangung der entwickelten Gase in gewöhnlicher Weise geschieht.

---

*) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 280.

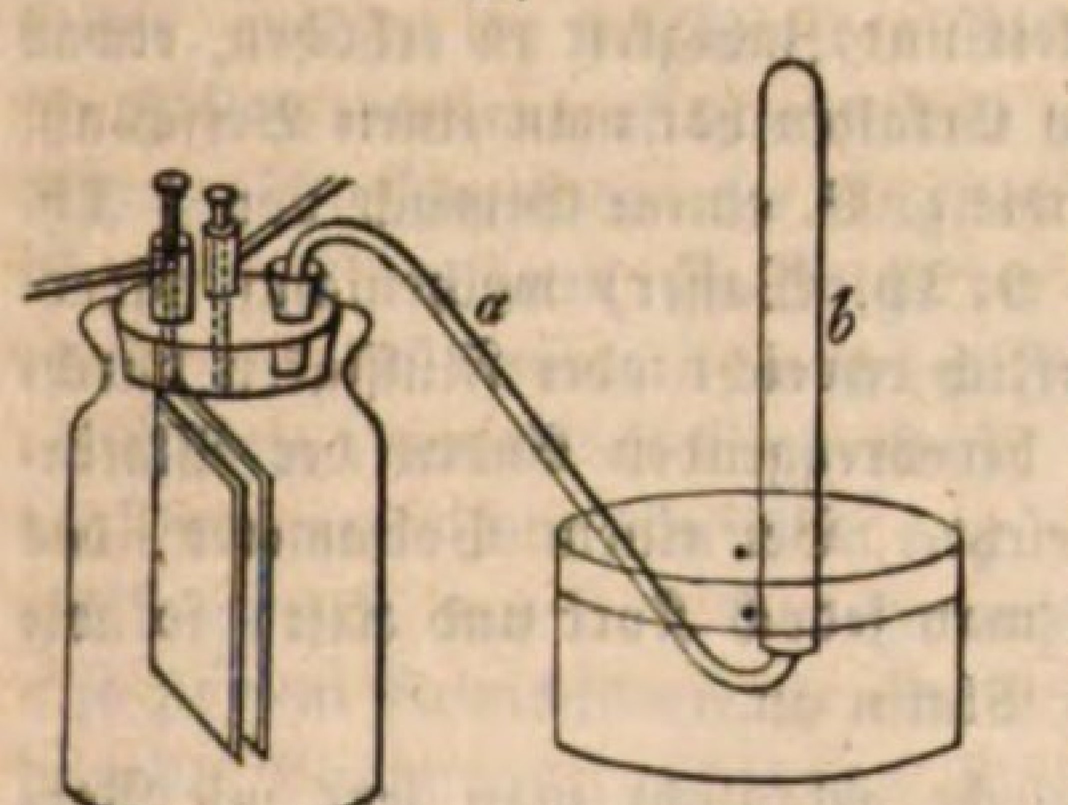
Wenn man die beiden Gase zusammen auffangen will, gebraucht man häufig ein cylindrisches Glasgefäß, welches zum Theil mit der betreffenden Flüssigkeit ge-

I.



füllt und dessen Hals durch einen eingeschliffenen Bleistöpsel verschlossen ist. Durch den letzteren gehen mittelst eingekitteter Glasröhren zwei starke Kupferdrähte, an welche zwei Platinbleche angelöthet sind, die parallel und möglichst nahe einander gegenüber stehen. Mit diesen Kupferdrähten werden die beiden Schließungsdrähte der Kette durch Klemmschrauben verbunden. Die von den Platinblechen aufsteigenden und über der Flüssigkeit sich ansammelnden Gase gehen durch die Röhre a in den Auffangcylinder b. Als voltametrische Flüssigkeit benutzt man gewöhnlich verdünnte Schwefelsäure, deren specifisches Gewicht = 1,34 ist, da dieselbe, nach Faraday's Versuchen, bei diesem Concentrationsgrade am wenigsten Gas absorbirt. In sofern bei Lösungen von Alkalien und alkalischen Salzen, wenn sie durch den galvanischen Strom eine Zerlegung erfahren, ebenfalls Sauer- und Wasserstoffgas entwickelt wird, und zwar in demselben Verhältnisse zu einander, wie bei der verdünnten Schwefelsäure, so kann man auch solche Lösungen als Zersetzungsflüssigkeit im Voltameter verwenden, obwohl sie die Elektricität minder gut als die Säure leiten. Man nimmt dann eine Aetzlauge, bei der 1 Theil trocknes Kali auf 9 Theile Wasser kommt, und statt der Platinplatten Platten von Eisenblech, das in ätzender Lauge von jener Beschaffenheit vom Sauerstoff sehr wenig oder gar nicht angegriffen oder oxydirt wird. Poggendorff empfiehlt Eisenblech in einer Kalilauge vorzüglich zur Construction sehr großer Voltameter, wie das oben

II.



beschriebene. Jedoch habe man dabei die Vorsicht zu befolgen, vorn in die Entbindungsröhren etwas Werg zu stopfen, da die Aetzkalilauge die Eigenschaft des Blasenwerfens oder Schäumens in nicht unbeträchtlichem Grade besitzt, sie also ohne ein solches Hemniß theilweise in die pneumatische Wanne übergeführt werden könnte.

Bunsen *) hat bei Construction größerer Voltameter die Kohle als wohlfeiles Material zu den Platten der Zersetzungszelle vorgeschlagen, wogegen Poggendorff **) erinnert hat, daß die Kohle, da sie einen Theil der aus der Wasserzersetzung hervorgegangenen Gase absorbire, nicht unbedingt zu empfehlen und auf keinen Fall dem Eisen in Aetzlauge vorzuziehen sei, sobald es sich nämlich darum handelt, die Gase des zersetzten Wassers auffangen und messen zu sollen.

Will man das Wasserstoffgas allein auffangen, so kann man mit Vortheil statt des Eisens unamalgamirtes Zink in Aetzlauge benutzen.

Poggendorff ***) giebt folgendes Verfahren an, wenn man sich ein Voltameter zu temporären Zwecken construiren will. Man nimmt eine cylindrische oder wenigstens sich nach oben nicht erweiternde Glasglocke, oder eine am Boden abgeschnittene Glasflasche, wählt einen sie unten verschließenden Kork aa, überzieht diesen auf seiner kleineren Grundfläche mit Siegellack, zerschneidet ihn darauf in drei Segmente von zweckmäßiger Größe, legt zwischen diese Segmente die Platinplatten pp, und schiebt ihn nun, mit sammt den Platten, in die Glasflasche hinein, und zwar so tief, daß der Rand um einige Linien über den Kork hervorragt. Die Schale, die somit von dem Glockenrand und der Außenfläche des Pfropfens gebildet wird, gießt man nun, nach Umkehrung der Glocke und gelinder Erwärmung derselben über einer Weingeistflamme, mit geschmolzenem Harzkitt bb aus, bestehend aus 4 Th. Harz und 1 Th. Wachs, dem man noch, um seine Leichtflüssigkeit und Zähigkeit zu erhöhen, etwas Bernsteinfirniß zusetzt. Nach dem Erkalten hat man einen Verschluß, welcher einer schwachen Säure (wie z. B. einem Gemisch von 1 Th. concentrirter Schwefelsäure und 9 Th. Wasser) wochenlang widersteht, ohne daß der Kork sonderlich erweicht oder Flüssigkeit durchsickert. An die aus dem Kitt hervorragenden Enden der Platinplatten werden beim Gebrauch Klemmen angesetzt. Bei einem Voltameter, das zu längerem Gebrauche dienen soll, vermeidet man jedoch Kork und Kitt, so wie auch jede Löthung, und wendet nur Glas und Platin an.



Statt der gewöhnlichen blanken Platinbleche gebraucht man jetzt mit Vortheil sogenannte platinirte Platinplatten, auf die wir weiter unten zurückkommen werden.

Durch zahlreiche Versuche, die Faraday mit Hülfe des Voltameters angestellt, ist nun das Gesetz zur Evidenz erhoben: daß die Menge der in einer gegebenen Zeit erzeugten Gase oder die Menge der zersetzten Flüssigkeit immer der durchströmenden Elektricitätsmenge proportional ist. Eine bestimmte Elektricitäts-

*) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 265 u. 273 ff.
**) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 287.
***) Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 183.

menge zersetzt hiernach immer dieselbe Quantität eines Elektrolyten, mag sie nun den letzteren mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit, oder mit einer mehr oder weniger starken Spannung durchdringen. Die Menge der zersetzten Flüssigkeit bleibt sich am Ende immer gleich; die Polplatten mögen wie immer verschieden an Größe sein, und mehr oder minder weit in der Flüssigkeit von einander abstehen. Die Intensitätsveränderung des Stromes hat keinen Einfluß auf die Resultate der Zersetzung, falls nur die Elektricitätsmenge dieselbe bleibt. Drei Voltameter wurden so aufgestellt, daß der elektrische Strom, nachdem er durch einen derselben gegangen war, sich in zwei Theile theilen mußte, die sich, nachdem jeder eines der beiden übrigen Instrumente durchlaufen hatte, wiederum vereinigten. Die Summe der Zersetzung in den beiden letzten Gefäßen war stets gleich der Zersetzung in dem ersten Gefäße. Wenn der Strom durch die Flüssigkeiten mehrerer Voltameter geht, so wird zwar in jedem einzelnen durch Hinzufügung des anderen die Quantität der Zersetzung vermindert, aber sie ist in allen, so lange sie überhaupt noch stattfindet, gleich groß. Die Beständigkeit der elektrochemischen Wirkung wird eben so wenig durch eine Veränderung in der Natur und Stärke der Lösung alterirt. Verdünnte Schwefelsäure, Lösungen von Alkalien und alkalischen Erden geben bei derselben Elektricitätsmenge dieselbe Menge von Gas. Endlich ist auch die Art und Weise, wie die galvanische Kette construirt ist, oder das Material, aus dem sie besteht, nicht von Belang. Hat man zwei Ketten, welche die Magnetnadel eines Galvanometers (das mit dem Voltameter zugleich in den Schließungsbogen eingeschaltet werden kann) um gleichviel ablenken, so erzeugen sie auch gleich viel Gas. Die Wasserzersetzung ist der durch das elektromagnetische Galvanometer oder den Multiplicator gemessenen Stärke der Ströme proportional *).

Wir wissen, daß in den Zellen einer Kette derselbe elektrische Proceß stattfindet, wie in der zwischen den Polen eingeschalteten Flüssigkeit. Enthalten nun die Zellen verdünnte Schwefelsäure oder schwefelsaures Kali, so werden, wenn die Kette geschlossen und etwa ein Voltameter in den Schließungsbogen eingeschaltet ist, alle Zinkplatten (in Folge der Elektrolyse) einen bestimmten Gewichtsverlust erleiden; und dieser ist in jeder Zelle chemisch proportional dem im Voltameter gleichzeitig entwickelten Wasserstoff, so daß für jedes Aequivalent Wasserstoff, das im Voltameter zum Vorschein kam, in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink aufgelöst worden waren. Das Gewicht des entwickelten Wasserstoffgases verhält sich also zu dem Gewichtsverluste einer Zinkplatte wie 1 : 32,3, ein Verhältniß, das dem der Mischungsgewichte von Wasserstoff und Zink vollkommen entspricht. In demselben Verhältniß wie wässerige Lösungen werden auch wasserfreie Verbindungen, wenn sie Leiter der Elektricität sind, von der letzteren zerlegt. Dahin gehören z. B. Chlorsilber, Chlorzinn, Chlorblei und salpetersaures Silber im geschmolzenen Zustande, worin sie die Elektricität leiten. Geht also ein und derselbe elektrische Strom durch mehrere Zersetzungszellen, welche verschiedene zerlegbare Körper enthalten, so stehen die Mengen der abgeschiedenen Bestandtheile derselben im Verhältniß der chemischen Aequivalente zu einander. Enthalten z. B. vier Zersetzungszellen nach einander Wasser, Chlorsilber, Chlorblei und Chlorzinn

*) Siehe Jacobi in Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 26 ff.

(die letzteren im geschmolzenen Zustande), so erscheint dem Gewichte nach an der negativen Seite 1 Wasserstoff, 108 Silber, 104 Blei, 57 Zinn und auf der positiven Seite 8 Sauerstoff und 35,4 Chlor. Dieselbe Elektricitätsmenge, welche ein Aequivalent Wasser zerlegen kann, wird also auch ein Aequivalent irgend einer anderen Verbindung zersetzen, falls diese überhaupt zerlegbar ist.

Dieses von Faraday aufgestellte Gesetz *) heißt das der bestimmten oder festen elektrolytischen Action, was man wohl auch so ausdrückt: Zur Abscheidung chemischer Aequivalente aus ihren Verbindungen sind gleiche Elektricitätsmengen erforderlich. So brauchen 9 Grm. Wasser und 36,5 Grm. Salzsäure als chemisch aequivalente Massen gleiche Elektricitätsmengen zu ihrer Zerlegung in Sauer- und Wasserstoff, und in Chlor und Wasserstoff. Nennt man nun die durch einen und denselben elektrischen Strom zerlegten Gewichtsmengen binärer Verbindungen elektrochemische Aequivalente, so verhalten sich diese wie die chemischen Aequivalente. Und hierin ist ein Mittel gegeben, um die letzteren, die man durch Wägung gefunden hat, auf Grund der ersteren zu prüfen.

In Folge einer von der elektrischen Thätigkeit der Kette unabhängigen chemischen Action kann es geschehen, daß der Zinkverlust in jeder Zelle der Quantität des zersetzten Wassers in dem eingeschalteten Voltameter nicht vollkommen äquivalent ist. So kann schon vor Schließung der Kette eine Auflösung des Zinks, namentlich wenn dieses nicht gehörig amalgamirt ist, stattfinden, so daß dann mehr als ein Aequivalent Zink in jeder Zelle für jedes Aequivalent zersetzten Wassers verzehrt erscheint. Eine Vergleichung im Großen zwischen dem durch den elektrischen Strom selbst herbeigeführten Zinkverbrauch und dem wirklichen hat Jacobi **) angestellt. Der Wasserzersetzungsapparat bestand aus 12 Paar Platinplatten, jede von ungefähr 15 Quadratzoll, welche in gesonderten Zellen befindlich und für diesen Versuch so angeordnet waren, daß der Strom sie hintereinander durchlaufen mußte. Das Gas, welches in ein gemeinschaftliches Rohr zusammenströmte, wurde in eine genau 0,42 englische Cubikfuß enthaltende Flasche über Wasser aufgefangen. Der galvanische Apparat bestand aus 3 Batterien, jede von 50 Paaren, mit wohlamalgamirten Zinkplatten von 6″ Seite; die Ladung auf der Kupferseite aus Kupfervitriol, auf der Zinkseite aus einer nicht ganz concentrirten Auflösung von schwefelsaurem Kali. Die 3 Batterien waren mit einander so combinirt, daß alle 3 Zink- und Kupferpole vereinigt mit den beiden Endplatten des Wasserzersetzungsapparates verbunden werden konnten. Die 150 Zinkplatten waren vor dem Versuche genau gewogen; ihr Gewicht betrug 225 Pfund 67,5 Solotnik. In etwa 7 Stunden, mit einigen Unterbrechungen, waren 3,39 englische Cubikfuß oder nach dem mittleren Barometerstande corrigirt, 3,42 Cubikfuß gemengte Gase entwickelt worden. Das Gewicht eines Cubikfußes Sauerstoff beträgt 9,5069 Solotnik, das eines Cubikf. Wasserstoff 0,5932 Solotnik. Die entwickelten 3,42 Cubikf. Gas wiegen daher 12,09 Solotnik, oder sind aus der Zersetzung einer gleichen Quantität Wasser entstanden. Setzt man das Atomgewicht des Wassers = 9 und das des Zinks = 32,5, so hat man 9 : 32,5 = 12,19 : 44,02, so daß das Aequivalent des entwickelten Gases = 44,02 Zink ist.

*) Poggend. Ann. Bd. XXXIII. S. 497 ff.
**) Poggend. Ann. Bd. XLVIII. S. 55.

Nach dem Versuche ergab sich das Gewicht der Zinkplatten, welche sorgfältig abgespült und getrocknet worden waren, zu 223 Pfund 70 Solotnik; es waren daher im Ganzen 1 Pfund 93 Solotnik oder 189,5 Solotnik Zink aufgelöst worden. Da 50 Plattenpaare und 12 Zersetzungsapparate hinter einander zur Kette verbunden waren, so mußten, nach dem Faraday'schen Gesetze, für 12 Atome Wasser $4^1/_6$ Atom Zink, im Ganzen also 183,4 Solotnik Zink aufgelöst werden, was von der wirklich aufgelösten Zinkmenge nur um 6,1 Solotnik differirt, so daß die Mehrauflösung des Zinks hier 3,2 Procent betrug. Dieser Versuch gewährte also eine Bestätigung des obigen Gesetzes im größeren Maßstabe.

Nach dem Obigen sind die elektrochemischen Aequivalente den gemeinen chemischen proportional, und die zersetzte Masse eines Körpers steht zur Menge der Elektricität, welche während der Zersetzung durch den Querschnitt der Kette geht, in einem constanten Verhältniß. Läßt sich nun die Stromstärke auf eine bestimmte Einheit zurückführen und kennt man die Wassermenge, welche in der Zeiteinheit durch einen bestimmten Strom zerlegt wird; so kann man auch das elektrochemische Aequivalent des Wassers in Zahlen angeben, und dann auch weiter die elektrochemischen Aequivalente anderer Körper mit Hülfe ihrer chemisch bestimmten Aequivalente, denen sie proportional sind, ableiten. Als absolutes Maß der Elektricität kann man aber diejenige Elektricitätsmenge annehmen, welche in der Zeiteinheit (Secunde) durch den Querschnitt eines Leiters gehen muß, welcher in einer Ebene die Flächeneinheit begrenzt, um in der Ferne identische Wirkungen mit dem absoluten Grundmaße des freien Magnetismus hervorzubringen (s. d. Art. Magnetismus). Die magnetische und chemische Wirkung des Stromes sind nun einander proportional; und das elektrochemische Aequivalent des Wassers ist hiernach diejenige Wassermenge, welche während der Zeiteinheit durch den als Einheit angenommenen Strom zerlegt wird. W. Weber *) hat auf diesem Wege fortschreitend das elektrochemische Aequivalent des Wassers bestimmt.

Zu diesem Zwecke war erforderlich, irgend eine meßbare magnetische Wirkung des elektrischen Stromes zu beobachten, während eine bestimmte Quantität Wasser zersetzt ward. Dazu eignet sich die von Weber eingerichtete Tangentenboussole (s. d. Art.), wenn man die Kette durch dieselbe schließt. Weber benutzte jedoch wegen damaliger Ermangelung eines solchen mit größerer Feinheit ausgeführten Instrumentes ein anderes, bei dem keine Magnetnadel zu Hülfe genommen, sondern blos der Leiter des galvanischen Stromes selbst benutzt wurde. Auf einer cylindrischen Rolle von bestimmtem Durchmesser ward ein mit Seide übersponnener Kupferdraht von einer gewissen Länge aufgewunden, so daß alle Windungen einem Systeme concentrischer Kreise sehr nahe kamen, und der Flächeninhalt dieser Kreise für die von jenem Drahte umwundene Fläche gesetzt werden konnte. Der Flächeninhalt = S ließ sich aber leicht aus der Länge des Drahtes, dem Durchmesser der Rolle und der Zahl der Umwindungen berechnen. Die ganze Drahtrolle war ähnlich wie die bewegliche Rolle des Elektrodynamometers (s. d. Artikel Elektromagnetismus, Bd. II. S. 809) bifilar, an zwei feinen Drähten, aufgehängt, wodurch sie eine bestimmte Directionskraft D erhielt, vermittelst deren sich alle Kräfte, die auf die Rolle wirkten und sie zu drehen suchten, bestimmen

*) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 181.

ließen. Diese bifilare Aufhängung macht es möglich, den Stand und die Schwingungen der Rolle, wenn der Strom durch sie hindurchgeht, auf dieselbe Weise, wie bei dem eben genannten Instrumente oder den Magnetometer (s. d. Art.) zu beobachten, indem man einen Spiegel an der Rolle befestigt und darin das Bild einer entfernten Scale beobachtet.

Geht nun derselbe Strom, welcher im Voltameter das Wasser zersetzt, durch dieses Instrument, so wird die Kraft des horizontalen Theils des Erdmagnetismus den Stand desselben ändern und eine Ablenkung hervorbringen. Wird die letztere während der Dauer der Wasserzersetzung genau beobachtet, so ist die absolute Stärke des Stromes für irgend einen Augenblick, wo die Ablenkung φ beobachtet wird, durch die Gleichung $S\,T\,G = D \tan . \varphi$ bestimmt, wo T die absolute horizontale Intensität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte bezeichnet. Die Stromstärke G berechnet sich, wenn S,T und D bekannt sind, aus der beobachteten Ablenkung φ, und aus allen ihren Werthen für den Zeitraum t, wo die Wasserzersetzung geschah, die Quantität E der durch die Rolle gegangenen und zur Wasserzersetzung verbrauchten Elektricität $E = \int G\,dt$ nach dem oben festgestellten absoluten Maße. Ist nun die Menge des zerlegten Wassers = W Milligramme, so hat man $\frac{W}{E}$ für diejenige Wassermenge, welche durch das festgesetzte absolute Maß der Elektricität zerlegt wird.

Die Directionskraft D der Rolle ergiebt sich aus dem Trägheitsmoment K der letzteren und der Schwingungsdauer t, so daß $D = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ ist.

Aus 5 Versuchsreihen erhielt nun Weber im Mittel 0,009376 als elektrochemisches Aequivalent des Wassers, wonach also die als Einheit festgesetzte Elektricitätsmenge 0,009376 Milligramm Wasser in der Zeiteinheit zersetzt.

Man erkennt nun leicht, wie aus dem elektrochemischen Aequivalent des Wassers und dem chemisch bestimmten Aequivalent eines anderen Körpers auch dessen elektrochemisches Aequivalent bestimmt werden kann. So verhält sich das chemische Aequivalent des Wassers zu dem des Zinks wie 112,48 : 403,23. Bringt man nun dieses Verhältniß mit dem bekannten elektrochemischen Aequivalent des Wassers in eine Proportion, so erhält man hieraus für das elektrochemische Aequivalent des Zinks eine Zahl, die mit der von Bunsen auf dem Wege des Versuches gefundenen nahe übereinkommt. Bunsen gebrauchte zur Bestimmung des elektrochemischen Aequivalents des Zinks die oben erwähnte Tangentenboussole, durch welche er eine einfache Zinkkohlenkette schloß, bei der die Thonzelle mit einer Lösung von Kochsalz gefüllt und in die letztere statt des Zinkcylinders ein amalgamirter Zinkstreifen eingesenkt war. Der Strom wurde 5 Minuten lang erhalten, alle 15 Secunden die Ablenkung der Magnetnadel beobachtet, aus den sämmtlichen einzelnen Ablenkungen die mittlere Ablenkung, und dann auch die während der 5 Minuten in der Kette aufgelöste Zinkmenge bestimmt. Aus einer Vergleichung der in zwei Versuchen aufgelösten Zinkmengen mit den Tangenten der mittleren Ablenkungswinkel ergab sich die Proportionalität der chemischen mit der magnetischen Wirkung des Stromes.

Bei Anwendung der Tangentenboussole läßt sich die absolute Stärke G des Stromes aus der Tangente der mittleren Ablenkung u, der absoluten Intensität T

des Erdmagnetismus am Versuchsorte und dem Halbmesser R des Ringes, der vom Strome durchflossen wird, nach der Formel $G = \frac{1}{2\pi} T R . \tang u$ bestimmen *).

Aus der Menge E der zur Zinkauflösung verwendeten Elektricität und der Quantität Z des während einer bestimmten Zeit in der Kette verzehrten Zinkes ergiebt sich dann durch den Quotienten $\frac{Z}{E}$ das elektrochemische Aequivalent des Zinks.

Das Gesetz der festen elektrolytischen Action, durch so viele Fälle bewährt, macht es sehr wahrscheinlich, daß solche Zerlegungsproducte, die ihm nicht entsprechen, secundärer Art sind.

Daniell **) theilte einen elektrischen Zersetzungsapparat durch zwei poröse Scheidewände in drei Zellen, die mit einem und demselben Elektrolyte, so unter anderen mit einer Lösung von schwefelsaurem Kali oder Natron gefüllt wurden. In die eine der beiden äußeren Zellen tauchte die negative, in die andere die positive Polplatte einer Kette. Hiernach war es möglich, sowohl die Menge der auf der positiven Seite erschienenen Säure, als auch das auf der negativen Seite frei gewordene Alkali zu bestimmen. Die Menge des zersetzten Salzes zeigte sich nur aequivalent dem in derselben Zelle gleichzeitig entwickelten Wasserstoff, und wenn derselbe Strom durch ein Voltameter ging, so war das Volumen des in dem letzteren hervorgetretenen Wasserstoffes gleich dem während derselben Zeit in jener Zelle frei gewordenen. Es würde nun unverträglich mit dem elektrolytischen Gesetze oder mit der Proportionalität zwischen der überhaupt zersetzten Masse und der Menge der durchgegangenen Elektricität sein, wenn man sich die Annahme erlauben wollte, derselbe elektrische Strom habe einmal das Wasser in Sauer- und Wasserstoff und gleichzeitig auch das Salz in Säure und Alkali zerlegt. Bei weitem wahrscheinlicher ist, daß der Strom das Salz direct und zwar in der Weise zerlegt, daß das Kalium als solches an der negativen Seite auftritt, wo es sich dann auf Kosten des vorhandenen Wassers sogleich wieder oxydirt und dadurch eine Wasserstoffentwickelung veranlaßt.

Diese Ansicht der Sache macht es nun auch weiter wahrscheinlich, daß die Salze der Metalloxyde oder die Sauerstoffsalze den sogenannten Haloid- oder binären Salzen, zu denen z. B. Jodkalium gehört, analog zusammengesetzt sind. Reflectiren wir beispielsweise auf schwefelsaures Kali oder Natron und dergleichen, so erscheinen diese Salze in der gewöhnlichen Vorstellungsweise nach der Formel $SO_3 + RO$ (in der R das metallische Element bedeuten soll) zusammengesetzt. Ueberträgt man aber den Sauerstoff des Oxyds auf die andere Seite, so gewinnt man die Formel $SO_4 + R$, welche der obigen Ansicht entspricht. Das Radical SO_4 bildet hiernach, ähnlich wie Chlor, Jod rc. mit Wasserstoff (H) eine Säure ***)

*) S. Weber in Poggend. Ann. Bd. LV. S. 27; oder den Artikel Strom, elektrischer.

**) Poggend. Ann. Ergänzungsbl. S. 583 u. Bd. LXIV. S. 18.

***) S. Liebig in Geiger's Handbuch der Pharmacie, Heidelberg. Bd. I. S. 604; Graham's Lehrbuch der Chemie, Braunschweig.

mit Metallen dagegen Salze. Werden nun solche Verbindungen der Einwirkung des elektrischen Stromes unterworfen, so erscheint der Wasserstoff oder das Metall am negativen Pol, wo das letztere entweder als solches sich absetzt oder auf Kosten des Wassers oxydirt wird, während gleichzeitig auf der positiven Seite das Radical SO_4 hervortritt, das mit dem hier befindlichen Metall entweder von Neuem ein Salz bildet oder, falls dies nicht angeht, durch seine Einwirkung auf den Wasserstoff des Wassers eine Entwickelung von Sauerstoff veranlaßt. Allgemein lassen sich die Salze der Metalloxyde dieser Ansicht gemäß durch die Formel $AO + R$ vorstellen, wo A die Säure bedeutet.

E. Becquerel *) hat diese Vorstellungsweise auch auf die Oxydulsalze übertragen, die dann durch die Formel $AO + R_2$ repräsentirt werden, und der Elektrolyse unterworfen am negativen Pol doppelt so viel Metall als die Oxydsalze absetzen müssen, welches letztere Becquerel durch den Versuch bestätigt fand. Eine Auflösung von unterschwefligsaurem Kupferoxydul, bereitet bei Abschluß der Luft durch Digestion von kohlensaurem Kupferoxyd mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron, wurde nebst einer Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd in den Kreis einer schwach geladenen Kette eingeschaltet. Die negativen Pole waren von Platin, die positiven von Kupfer. Nach einigen Stunden waren gefällt aus dem Oxydulsalze 53 Milligrm. Kupfer und aus dem Oxydsalze 26 Milligrm. Basische Salze verhielten sich ähnlich wie Oxydulsalze.

Nach einer älteren Ansicht wird angenommen, daß bei der Zerlegung von Metalllösungen durch den elektrischen Strom dieser nur das Wasser zerlege, dessen Wasserstoff dann im Entstehungszustande das Metall aus seiner Lösung reducire. Diese Ansicht ist auch in neuerer Zeit noch von A. Connel **) und A. Smee ***) vertheidigt worden. Letzterer richtet seine Argumente vorzugsweise gegen einen Einwurf, den schon Hisinger und Berzelius ****) gemacht hatten, daß nämlich die Wasserzersetzung darum nicht das primäre sein könne, weil Metalle, wie Zink und Eisen, nicht aus ihren Lösungen durch Wasserstoff reducirt würden. Diesen Einwurf suchte er durch eine Reihe von Versuchen zu beseitigen.

Wohlgebrannte Holzkohle, die rothglühend in verdünnter Schwefelsäure gelöscht war und in diesem Zustande keine Wirkung auf Metalllösungen ausübte, verband er mit dem negativen Pole einer Volta'schen Batterie. Dadurch belud sich dieselbe mit Wasserstoffgas, und nun in Lösungen von Gold, Silber, Kupfer ꝛc. getaucht bekleidete sie sich augenblicklich mit einem glänzenden Metallüberzuge. Ob die Kohle sich auch in Lösungen von Zink und Eisen mit diesen letzteren Metallen überzogen habe, ist nicht erwähnt. Alsdann nahm Smee eine etwas weite und an einem Ende zugeblasene Glasröhre, füllte sie mit einer Metalllösung, steckte einen platinirten Platinstreifen hinein, und kehrte sie nun in einer mit derselben Lösung gefüllten Schale um. Endlich ließ er so viel Wasserstoff in die Röhre treten, daß der Platinstreifen etwa zur Hälfte in dem Gase, zur Hälfte in der

---

*) Ann. de chim. et phys. S. III. T. XI. p. 162 et 257; freier Auszug in Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 461 u. 465.

**) Poggend. Ann. Ergänzbd. S. 590.

***) Pogend. Ann. Bd. LXV. S. 470; freier Auszug aus Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXV. p. 434.

****) Ann. de Chim. (1804) T. LI. p. 174.

Flüssigkeit stand. Das Platin bedeckte sich unter diesen Umständen mehr oder weniger schnell, unter Abnahme des Wasserstoffgases, mit einem Ueberzuge von dem in der Flüssigkeit enthaltenen Metall. Poggendorff*) bemerkt hierzu, daß die von Smee dem Anscheine nach gehegte Meinung, daß die Reduction, welche erfolgt, wenn eine Platinplatte, wie hier, theilweise in einer Metalllösung, theilweise in Wasserstoffgas steht, lediglich Folge einer rein chemischen Wirkung des letzteren sei, nicht auf Wahrheit beruhe. Die Reduction sei Folge eines galvanischen Processes, der Wirkung einer Kette, in welcher der das Wasserstoffgas berührende Theil des Platins das positive, und der in der Flüssigkeit stehende das negative Element ist. Es lasse sich dies schon aus Smee's eigenen Versuchen abnehmen, in sofern sie darthun, daß es hierbei nicht allein auf das Wasserstoffgas ankommt, sondern wesentlich auch auf das hineingestellte Metall. Kupfer, das im Wasserstoff nicht so positiv wird wie Platin, zeigt sich auch wirkungslos.

Daniell**) stellte im Verein mit W. A. Miller noch eine längere Untersuchung über die Elektrolyse secundärer Verbindungen an, wobei sie Thatsachen beobachteten, die im Wesentlichen auch schon von L. Gmelin wahrgenommen waren***). Jene Physiker unterscheiden folgende Classen von Elktrolyten.

1) Ein Elektrolyt kann aus einfachen Jonen bestehen; dann muß es ein einfaches Aequivalent von Metall oder H zum Kation (elektropositiven Bestandtheil), und ein einfaches Aequivalent eines nicht metallischen Elements zum Anion (elektronegativen Bestandtheil) haben. Dergleichen sind Jodkalium, Chlorsilber ꝛc. Diese können einfache Elektrolyte heißen.
2) Ein Elektrolyt kann bestehen aus einem zusammengesetzten Kation, von dem ein einzelnes Aequivalent das Metall vertreten muß, und einem einzelnen Aequivalent eines einfachen nicht metallischen Anions, wie $NH_4 . Cl$. Diese und die folgenden können complexe Elektrolyte genannt werden.
3) Ein Elektrolyt kann bestehen aus einem zusammengesetzten Anion, von dem ein einzelnes Aequivalent das einfache nicht metallische Anion ersetzen würde, und einem einzelnen Aequivalent eines einfachen Kation eines Metalls oder H. Solche sind $H . NC_2$; $K . SO_4$; $Na . NO_6$.
4) Ein Elektrolyt kann bestehen aus einem einzelnen Aequivalent eines zusammengesetzten Kations und einem einzelnen Aequivalent eines zusammengesetzten Anions. Ein solches ist $NH_4 . SO_4$.
5) Ein Elektrolyt kann aber auch bestehen aus zwei oder mehreren Aequivalenten eines metallischen Kations (oder H), oder aus einzelnen Aequivalenten von zwei oder mehreren Kationen (oder H), wo dann das Anion aus einem einzelnen Aequivalent eines zusammengesetzten Jons bestehen muß, wie $K_2 Fe Cy_3$. Bei einem Oxydsalze enthält dieses zusammengesetzte Jon die sogenannte wasserfreie Säure, verbunden mit so vielen Aequivalenten Sauerstoff

*) Ann. de chem. (1804) T. LI. p. 473.
**) Philosophical Transact. f. 1844. pt. I.; Poggend. Ann. Bd. LXIV. S. 18.
***) Poggend. Ann. Bd. XLIV. S. 27.

als von metallischen Kationen (oder H) in den Verbindungen da sind, z. B. $Na_3 + P_2 O_5 . O_3$.

Für die einfachen Elektrolyte stellte Faraday den Satz auf *), daß ihre elementaren Bestandtheile (Jonen) nur in gleich viel elektrochemischen Aequivalenten, und nicht in Multiplis derselben an den Polen auftreten können, so daß also von verschiedenen Verbindungen, die zwei Elemente mit einander eingehen können, nur diejenige vom Strom zerlegt wird, die aus gleich viel Aequivalenten von jedem besteht.

E. Becquerel unterwarf nun unter verschiedenen binären Verbindungen auch das oxydirte Wasser der Elektrolyse und bestimmte den aus diesem entwickelten Sauerstoff. Als positiver Pol diente ein Platindraht, der bis auf ein kleines Stück in eine Jförmige Röhre eingeschmolzen war, also nur mit diesem Stücke die Flüssigkeit berührte, und von einer kleinen graduirten Glocke überstülpt war. Ein Trogapparat von 30 schwach geladenen Elementen lieferte den Strom, in dessen Kreis zugleich ein Voltameter eingeschaltet war. Aus dem oxydirten Wasser wurde, abweichend von der Faraday'schen Annahme, doppelt so viel Sauerstoff als aus dem gewöhnlichen entwickelt. Diese Thatsache sucht Becquerel durch die Annahme zu erklären, das oxydirte Wasser sei ein Sauerstoffhydrat, gemäß der Formel $H_2 O + O$, das ähnlich wie nach Daniell die wasserhaltige Schwefelsäure $H_2 + SO_4$ zerlegt werde, so daß H am negativen und $O + O = O_2$ am positiven Pol erscheine.

Wir wissen, daß die chemische und magnetische Wirksamkeit des elektrischen Stromes auf proportionale Weise ab- und zunehmen, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man denselben Strom durch ein Voltameter und ein geeignetes Galvanometer gehen läßt. Man erkennt dann auch, daß die chemische, wie magnetische Thätigkeit einer Volta'schen Kette in den ersten Momenten nach der Schließung am lebhaftesten sich darstellt, dann rasch bis zu einer gewissen Grenze abnimmt und von hier an mehr oder weniger lange sich ziemlich gleich bleibt. Nicht selten nimmt aber auch die Stromstärke fortwährend ab, so daß mitunter ein völliger Stillstand in der Kette eintritt. Denken wir uns eine Zink- und Kupfer- oder Platinplatte, welche durch einen Kupferdraht (z. B. durch den Draht eines Galvanometers) mit einander verbunden sind, in einer Lösung von Zinkvitriol, so ist uns bekannt, daß an der negativen Platte sich metallisches Zink absetzen und dieselbe nach einiger Zeit überziehen wird. Hierdurch wird die Berührung dieser Platte (des Kupfers) mit der Flüssigkeit aufgehoben, dagegen durch den Contact der ersteren mit dem abgesetzten Zink ein dem vorigen gleicher, aber entgegengesetzter Strom erregt. Die Thätigkeit der Kette muß sonach aufhören. Bei Anwendung von verdünnter Schwefelsäure bedeckt sich die Kupfer- oder Platinplatte mit einer Schicht von Wasserstoffgas, welche auf ähnliche Weise wie das Zink eine Schwächung des Stromes bewirkt. Wasserstoff in Berührung mit der Metallplatte ist positiv, die letztere selbst negativ elektrisch, und wenn man dieselbe mit einer anderen reinen Platte von demselben Metalle zu einer Kette verbindet, so bildet diese Platte die negative, jene mit Wasserstoff bedeckte aber die positive Seite. Von dem Dasein des Stromes dieser Kette überzeugt man sich, wenn man beide Platten

*) Poggend. Ann. Bd. XXXIII. S. 498.

durch den Draht eines Galvanometers mit einander in Verbindung setzt. Dieser Strom dauert aber natürlich nur so lange als das Gas dem Metalle adhärirt, und man kann letzteres sogleich in seinen gewöhnlichen Zustand zurückführen, wenn man die ihm anhaftende Wasserstoffhülle durch Glühen oder durch Eintauchen der Platte in entgegengesetzt wirkende Gase (wie Chlor, Brom, Sauerstoff) entfernt *). Platin, das als positiver Pol einer Kette gedient und bei der Wasserzersetzung sich mit einer Sauerstoffschicht bedeckt hat, zeigt das entgegengesetzte Verhalten von dem durch Wasserstoff elektrisirten Platin. Ueberhaupt verhält sich eine Metallplatte, die mit einer Wasserstoffhülle versehen ist, zu einer reinen Platte von demselben Metall wie ein elektropositives Glied, während durch Sauerstoff das umgekehrte elektromotorische Verhältniß bewirkt wird. Man nennt nun solche Metalle, welche durch die bei der Elektrolyse an ihnen abgesetzten Stoffe ein besonderes, von ihrem gewöhnlichen abweichendes elektrisches Verhalten zeigen, polarisirt. Hiernach heißt diejenige Platte, welche als negativer Pol in gesäuertem Wasser gedient hat, positiv polarisirt, diejenige dagegen, welche als positiver gedient hat, negativ polarisirt. Dasselbe Verhalten wie durch die Elektrolyse gewinnen Platinplatten auch durch Eintauchen in Sauerstoff, Chlor und Bromgas, wodurch sie negativ und durch Eintauchen in Wasserstoff, wodurch sie stark positiv polarisirt werden.

Svanberg **) kam durch eine Reihe von Versuchen zu dem Resultate, daß die bei der galvanischen Wasserzersetzung an der Oberfläche verschiedener Metalle durch Wasserstoff entstehende Polarisation desto größer ist, je negativer das Metall.

Wenn also in den Zellen einer galvanischen Kette in Folge der Elektrolyse Wasserstoffgas entwickelt wird, so wird dieser die negativen Erregerplatten zum Theil bedecken und dadurch zu einem Strome Veranlassung geben, der dem ursprünglichen entgegengesetzt ist und denselben bis zu einem gewissen Grade schwächt. Diese Schwächung des Stromes durch die positive Polarisation der negativen Erregerplatten kann nicht so stattfinden in den constanten Ketten von Daniell oder Becquerel, von Grove und Bunsen. In den beiden ersteren befindet sich die Kupferplatte in einer Lösung von Kupfervitriol; sie wird durch die Elektrolyse mit metallischem Kupfer bedeckt und bleibt darum mit der Flüssigkeit selbst in Berührung. In der Grove'schen Kette steht das Platin, in der Bunsen'schen die Kohle in concentrirter Salpetersäure, welche eine eigentliche Entwickelung von Wasserstoff nicht zu Stande kommen läßt, da sich die ausgetretenen Wasserstofftheilchen sogleich wieder oxydiren, wodurch hier salpetrige Säure gebildet wird.

Auf einer derartigen Polarisation beruhen nun auch die von Ritter entdeckten Ladungssäulen, die man erhält, wenn man gleichartige Metallplatten, z. B. von Kupfer, abwechselnd mit feuchten Tuchscheiben zusammenschichtet. Schließt man durch eine solche, an und für sich unwirksame Säule eine Volta'sche Kette, so wird der Strom der letzteren die Flüssigkeit in den Tuchscheiben zerlegen; die Platten werden dadurch auf der einen Seite durch Wasserstoff, auf der anderen durch Sauerstoff polarisirt; und wenn man dann die Säule von der Kette wieder

---

*) S. Schönbein in Poggend. Ann. Bd. XLVII. S. 101.

**) Poggend. Ann. Bd. LXXIII. S. 298 ff.

trennt, so liefert erstere einen elektrischen Strom, der dem der letzteren entgegengesetzt ist. Nicht wesentlich hiervon verschieden ist die Grove'sche Gassäule. Hier sind nämlich Platinplatten, von denen je zwei einander gegenüberstehende, die eine durch Wasserstoff, die andere durch Sauerstoff, polarisirt sind, in verdünnter Schwefelsäure zu einer Kette mit einander verbunden. Während der Thätigkeit einer solchen Kette, die eine beträchtliche Wirkung verräth, werden Sauer- und Wasserstoff nahe im Verhältniß ihrer Aequivalente (oder dem Volumen nach in Verhältniß von 1:2) aufgezehrt. Poggendorff*) hat eine besondere Vorrichtung angegeben, vermittelst deren man im Stande ist, die Polarisation der Platinplatten fortwährend wieder herzustellen, was für den Gebrauch der Säule ohne Zweifel von großem Werthe ist, da ohne ein solches Mittel ihre Wirkung nur von kurzer Dauer sein würde.

Durch die elektrochemische Polarisation kann unter Umständen sogar eine vorübergehende Umkehrung des durch die gewöhnlichen Contactverhältnisse zwischen zwei Metallen und einer Flüssigkeit veranlaßten Stromes bewirkt werden. Dies geschieht, wenn man eine Platinplatte in Wasser als negativen Pol einer starken Kette benutzt und hierauf mit Zink vermittelst eines Multiplicatordrahtes zu einer Kette verbindet. Die Ablenkung der Nadel giebt dann einen Strom zu erkennen, der vom Platin durch die Flüssigkeit zum Zink geht, nach einiger Zeit aber verschwindet, so daß die Nadel in ihre Ruhelage zurückkehrt und einige Momente darin verharrt. Hiernach wird sie dauernd nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt, durch einen Strom, der die entgegengesetzte Richtung des eben erwähnten hat.

Die durch die Polarisation hervorgerufene elektomotorische Gegenkraft ist die Ursache, daß unter den gewöhnlichen einfachen Ketten nur die Grove'sche oder Bunsen'sche angesäuertes Wasser zwischen den Platinplatten eines Voltameters zersetzen kann.

Nach Untersuchungen von Poggendorff**) hängt die Polarisation von der Intensität des Stromes ab, dergestalt, daß sie anfangs rasch, darauf immer langsamer mit derselben steigt, um sich asymptotisch einer Grenze zu nähern, über welche hinaus eine fernere Steigerung der Intensität keine oder doch nur eine sehr unmerkliche Vergrößerung der Polarisation bewirkt. Von Einfluß ist hierbei die Natur der Flüssigkeit, ihre Concentration und Temperatur, so wie auch der eigenthümliche Zustand der Oberfläche des Platins.

Man hat die Erfahrung gemacht, daß platinirte Platinplatten, d. h. solche, die mit schwarzem, äußerst fein vertheilten Platinpulver überzogen sind, das sich aus einer verdünnten Lösung von Platinchlorid elektrochemisch darauf niederschlagen läßt, im Voltameter eine größere Menge von Gas liefern als gewöhnliche blanke Platinflächen. So fand Poggendorff, daß dieselbe Grove'sche Kette, die mittelst des blanken Voltameters in 30 Minuten nur 0,892 C. C. Knallgas (reducirt auf $0^{m},760$, auf 0^{0} und volle Trockenheit) gegeben hatte, mit dem platinirten Instrumente verbunden in einer gleichen Zeit 77,67 C. C. des Gases (eben so reducirt), also fast 87 Mal so viel als im ersten Falle lieferte.

*) Poggend. Ann. Bd. LX. S. 568.; s. auch d. Art. Kette, elektrische.
**) Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 177 ff.

Durch weitere messende Versuche *) ergab sich, daß das Maximum der Polarisation bei den platinirten Platten bei weitem geringer ist als bei den blanken, daß es sich bei jenen früher als bei diesen einstellt, und daß die Polarisation bei den platinirten Platten weniger mit den Aenderungen der Stromstärke variirt als bei den blanken. Je kleiner innerhalb gewisser Grenzen die Kraft der polarisirenden Kette ist, desto stärker wird das Verhältniß der in gleicher Zeit von dem platinirten und dem blanken Voltameter gelieferten Gasmengen zu Gunsten des ersteren Instruments ausfallen. Bei einer Batterie tritt das Uebergewicht dieses Instruments erst nach einiger Zeit hervor, da die blanken Platten, wenn sie nicht besonders gereinigt worden sind, nur sehr langsam zu ihrem Polarisationsmaximum gelangen.

Poggendorff machte bei Gelegenheit dieser Untersuchungen noch einige bemerkenswerthe Wahrnehmungen, die sich beim Oeffnen und Schließen der Kette darbieten. Wird nämlich das Schließen mit einiger Aufmerksamkeit vollzogen, so läßt sich beobachten, daß die Gasentwickelung nicht gleichzeitig an beiden platinirten Platten beginnt, sondern an der, welche den Sauerstoff ausgiebt, früher als an der anderen, die den Wasserstoff liefert, was besonders auffallend ist, wenn der Strom der polarisirenden Kette durch Einschaltung eines großen Widerstandes beträchtlich geschwächt worden ist. Beim Oeffnen der Kette dagegen fahren beide Platten noch eine Zeit lang fort Gas zu entwickeln. An der Platte aber, welche den Wasserstoff liefert, geht sie schon nach einer oder anderthalb Minuten zu Ende, während die andere Platte noch lange Sauerstoffgas reichlich entläßt, und selbst noch nach einer Stunde dasselbe in mikroskopischen Bläschen aussendet. Um dies zu beobachten, ist aus der Kette, damit sie möglichst stark auf das Voltameter wirken könne, aller unnöthige Widerstand zu entfernen. Poggendorff betrachtet diese Erscheinungen als offenbare Folgen einer Absorption, welche das zarte Platinpulver, mit dem die Platten bekleidet sind, auf die an ihm ausgeschiedenen Gase ausübe, eine Absorption, die ungleich stärker für den Wasserstoff als für den Sauerstoff sei. Derselbe verfolgte diesen Gegenstand noch weiter, indem er eine Batterie aus zwei Grove'schen nach der Reihe mit vier in verdünnte Schwefelsäure gestellten Platinpaaren verband, von denen das eine aus zwei platinirten, das andere aus zwei blanken Platten bestand, das dritte aus einer platinirten und einer blanken, so daß sich der Wasserstoff an jener zu entwickeln hatte, das vierte endlich aus einer platinirten und blanken dergestalt, daß sich der Wasserstoff an der letzteren entbinden mußte. Die elektromotorische Kraft dieser vier Systeme wurde berechnet, um darnach beurtheilen zu können, welche von den beiden Platten des platinirten Paares am meisten zur Schwäche der bei diesem Paare beobachteten Polarisation beigetragen habe. Aus der Vergleichung zweier Versuchsreihen ergab sich als wahrscheinliches Resultat, daß für größere Stromesstärken die Polarisation bei beiden platinirten Platten in ziemlich gleichem Grade schwächer ist als bei den blanken; für kleinere Stromesstärken aber diejenige platinirte Platte, welche den Wasserstoff abgiebt, gegen die blanke schwächer polarisirt ist als die andere, den Sauerstoff liefernde platinirte Platte, verglichen mit der entsprechenden blanken. Die Platinirung übt also hauptsächlich auf die Polarisation der das Wasserstoffgas entwickelnden Platte einen schwächenden Einfluß, und da dies eine viel stärkere

*) Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 183 ff.

Absorption des Wasserstoff= als des Sauerstoffgases veranlaßt, so scheint es, als sei überhaupt die durch die Porosität der Oberfläche bedingte Absorption der Gase die nächste Ursache der Schwäche der Polarisation. Svanberg *) sieht die Ursache der schwächeren Polarisation der platinirten Platinplatten darin, daß die Gase zu den körnigen Oberflächen eine geringere Adhäsion haben als zu den blanken, und betrachtet dies als im wahrscheinlichen Zusammenhange stehend mit der bekannten Thatsache, daß das Sieden an der Oberfläche pulverförmiger Körper leichter eintritt.

Um zu erfahren, ob blanke Platinplatten, die bei der Polarisation unter gewöhnlichen Umständen nichts zeigen, was auf ein ungleiches Festhalten der an ihnen entbundenen Gase hindeuten könnte, in höherer Temperatur etwas dem Aehnliches darbieten, stellte Poggendorff **) nachstehenden Versuch an. Zwei wohl gereinigte blanke Platinplatten wurden in einem über die Hälfte mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Becherglase so angebracht, daß sie noch beinahe einen Zoll vom Boden desselben entfernt blieben. Alsdann wurden die Platten mit einer galvanischen Kette verbunden, und die Flüssigkeit durch eine darunter gestellte Weingeistlampe langsam bis zum anfangenden Sieden erhitzt. War nun die Kette eine einfache Grove'sche, so nahm die bei gewöhnlicher Temperatur schwache Wasserzersetzung bei 70 bis 80° C. merklich an Stärke zu, und wenn die Kette fortwährend geschlossen blieb, kam endlich die Flüssigkeit an beiden Platten lebhaft zum Sieden, noch ehe Dampfblasen vom Boden des Gefäßes aus sich erhoben. Die Dampfbildung wurde hier durch die Gasentwickelung an den Platten begünstigt, was sich besonders zeigte, wenn die Kette einige Zeit geöffnet und die Flüssigkeit nahe am Siedpunkte erhalten wurde. Als die Kette nun auf wenige Augenblicke geschlossen ward, stellte sich eine stürmische Dampfentwickelung ein. Wenn man aber die Kette pausenweise schließt und wieder öffnet, so geht bei hinreichender Wiederholung dieses Verfahrens die Dampfbildung, welche anfänglich an beiden Platten in gleicher Stärke auftritt, nach der einen Platte hin, und endlich gelangt man zu einem Punkte, wo der Dampf den Anschein nur an dieser einen Platte entweicht. Wird die Richtung des Stromes umgekehrt, so geht auch die Dampfbildung zu der anderen Platte über, und ist dann beim ersten momentanen Schließen besonders heftig. Derselbe Wechsel findet bei jeder Umkehrung des Stromes statt. Die Dampfbildende Platte ist in der Regel diejenige, an welcher der Sauerstoff sich entbindet. Platinirte Platten verhielten sich wie blanke, und die Concentration der Säure machte keinen Unterschied.

Jacobi ***) machte die interessante Beobachtung, daß die durch den Strom einer Stöhrer'schen magnetoelektrischen Maschine im Voltameter erzeugten Gase im letzteren durch Wiedervereinigung allmälig verschwinden, was er, der Wahrscheinlichkeit gemäß, der bekannten Wirkung des Platins auf ein Gemenge von Sauer= und Wasserstoff zuschreibt. Poggendorff ****), der durch Jacobi aufmerksam gemacht, diese Erscheinung ebenfalls beobachtete, bemerkt, daß dieselbe

*) Poggend. Ann. Bd. LXXIII. S. 304.
**) Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 198 ff.
***) Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 105.
****) Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 201.

nicht unter allen Umständen auftrete, sondern nur bei Anwesenheit eines selten vorhandenen Zustandes der Oberfläche des Platins. Ein wesentliches Erforderniß sei Reinheit der Oberfläche, welche das platinirte Platin in hohem Grade besitze und dem Platin theilweise auch durch Glühen gegeben werden könne. Uebrigens sei es nicht wahrscheinlich, daß, so lange der Strom wirkt, und besonders so lange er hinreichend stark ist, um eine beträchtliche Gasmenge zu entbinden, jene Erscheinung in erheblicher Weise stattfinden werde. Als Poggendorff einmal, nach Unterbrechung des Stromes, die Gasableitungsröhre mit ihrem unteren Ende in der Sperrflüssigkeit seines Voltameters stehen ließ, sah er, daß die Vereinigung beider Gase schon begann, während die positive Platte noch fortfuhr Sauerstoff zu entwickeln.

Wenn die aus der Polarisation hervorgehende Gegenkraft hinreichend geschwächt wird, so kann selbst eine einfache Daniell'sche Kette, die doch sonst unter keinen Umständen eine bemerkbare Wasserzersetzung bewirkt, eine solche vollbringen, wie Poggendorff *) gezeigt hat, indem er dabei die elektromotorische Kraft benutzte, welche bei der Berührung zweier gleichartiger oder auch ungleichartiger Metallplatten mit verschiedenartigen Flüssigkeiten zu Tage kommt. Aus zwei Platinplatten, von denen die eine in einer sauren, die andere (oder statt deren mit Vortheil eine Eisenplatte) in einer alkalischen Flüssigkeit steht, bildet man eine Kette und verbindet dieselbe auf entsprechende Weise mit der zur Elektrolyse dienenden einfachen Kette. Ist die letztere z. B. eine Grove'sche, so verknüpft man diese mit der ersteren, welche die Stelle des Voltameters vertritt, so, daß die Zinkplatte jener mit der in Schwefelsäure stehenden Platinplatte der anderen verbunden ist. Es tritt dann sogleich eine lebhafte Wasserzersetzung ein, bei welcher der Sauerstoff an der in der Kalilösung befindlichen Platinplatte entweicht. Beide Flüssigkeiten sind durch eine poröse Thonzelle von einander getrennt.

Nach dem Bisherigen werden die Polplatten durch die an ihnen ausgeschiedenen Gase polarisirt, und zwar die positive Platte negativ, die andere positiv, wodurch denn ein dem primären entgegengesetzter Strom veranlaßt wird. Es kann aber auch unter Umständen, wenn die Polarisation im umgekehrten Sinne geschieht, durch die Berührung der Polplatten mit den Gasen ein Strom entstehen, der im gleichen Sinne mit dem der gegebenen Kette wirkt. Hierher gehört ein von Grove **) angestellter Versuch. Zwei Glasröhren, von denen jede eine Platinplatte enthält, stehen mit dem unteren offenen Ende in verdünnter Schwefelsäure, welche sie zur Hälfte anfüllt. Oberhalb der Säure befindet sich in der einen Röhre Sauerstoff, in der anderen Wasserstoffgas, so daß also jede Platte zur Hälfte im Gas, zur Hälfte in der Flüssigkeit steht. Verbindet man nun die den Sauerstoff berührende Platte mit dem Zink, die andere mit dem Kupfer einer einfachen Kette, so zeigt sich eine lebhafte Wasserzersetzung.

Hieran reihen sich verschiedene Versuche von Schönbein ***) über den Einfluß der in der Zersetzungszelle befindlichen Stoffe auf die chemische Wirksamkeit einer Kette oder deren Stromstärke. Ist die Zersetzungsflüssigkeit z. B. Wasser,

---

*) Poggend. Ann. Bd. LXXI. S. 132.
**) Compt. rend. T. VIII. p. 498; Poggend. Ann. Bd. LV S. 452.
***) Poggend. Ann. Bd. LVII. S. 35.

in welche Gold- oder Platinelektroden eintauchen, so kann der Strom einer aus Zink und Gußeißen bestehenden Kette (wovon das erstere in verdünnte Schwefelsäure, letzteres in concentrirte Salpetersäure taucht) keine wahrnehmbare Zerlegung des Wassers bewirken. Umgiebt man aber die negative Elektrode mit einem Stoffe, welcher zu dem Wasserstoffe eine große chemische Verwandschaft besitzt, so wird das Wasser merklich zerlegt, wie der an der positiven Elektrode sich entbindende Sauerstoff zeigt. Blei- und Silberhyperoxyd, Salpetersäure, Chlorsäure, Mangansäure, concentrirte Schwefelsäure, leicht reducirbare Metalloxyde, Chlor und Brom sind Körper, die zum Wasserstoffe eine große chemische Verwandschaft besitzen und durch ihre Anwesenheit im Wasser oder vielmehr an der negativen Elektrode die Zersetzung dieser Flüssigkeit begünstigen. Umgiebt man die positive Elektrode mit einem Stoffe, der zum Sauerstoff des Wassers eine große Affinität besitzt, so wird dadurch gleichfalls die Zerlegung des Wassers befördert. Dies geschieht, wenn die positive Platinelektrode von einer Hülle von Wasserstoff umzogen, oder wenn das Metall dieser Elektrode selbst eine leicht oxydirbare Substanz ist; es tritt dann an der negativen Elektrode eine lebhafte Wasserstoffentwickelung ein.

Uebrigens hatte, wie Schönbein selbst erwähnt, schon E. Becquerel wahrgenommen, daß alle Substanzen, welche eine starke Affinität zum Sauerstoff oder Wasserstoff des Wassers haben, die Zerlegung des letzteren begünstigen.

Die Ursache dieser Begünstigung liegt nun in der depolarisirenden Wirkung der genannten Substanzen. Ist also die negative Elektrode von einem Stoffe umhüllt, der sich mit dem an ihm ausscheidenden Wasserstoff sogleich verbinden kann, so wird die positive Polarisation dieser Elektrode verhindert und damit auch die Größe des von derselben veranlaßten secundären Stromes vermindert. Dasselbe geschieht, wenn der Sauerstoff an der positiven Elektrode im Moment seines Auftretens sogleich entfernt wird. Wenn aber die an den Elektroden ausgeschiedenen Bestandtheile des Wassers oder irgend eines anderen Elektrolyten gleichzeitig und vollständig entfernt werden, so wird auch die Polarisation beider Elektroden gleichzeitig und vollständig verhindert, und der unter solchen Umständen von der Kette erzeugte Strom muß stärker ausfallen, als in dem Falle, wo die Polarisation von nur einer Elektrode verhindert wird. Schönbein, wiewohl er den Grund der Erscheinung vorzugsweise in dem eben Gesagten findet, nimmt noch hinzu die chemische Anziehung, welche die Substanzen an den Elektroden auf die Bestandtheile des Wassers vor dessen Zerlegung durch den Strom ausüben. Diese Anziehung, welche an der positiven Elektrode auf den Sauerstoff, an der negativen auf den Wasserstoff des Wassers gerichtet ist, soll die Elektrolyse des letzteren begünstigen und demgemäß die Stromstärke vermehren.

Eine interessante Polarisationserscheinung beobachtete Jacobi *). Derselbe ließ durch eine verdünnte Goldchloridlösung den schwachen Strom eines Daniell-schen Paares gehen, und verband dann (mit Ausschluß der Kette) die Platinelektroden mit einem Multiplicator. Es zeigte sich ein starker, dem früheren entgegengesetzter Strom, der jedoch keine Zersetzung des Goldchlorids bewirkte.

---

*) Bullet. phys. math. de l'acad. de St. Petersb. T. V. No. 14; Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 221.

Dieser starke Polarisationsstrom entstand nach Jacobi einerseits durch das bei der vorigen Zersetzung des Goldchlorids an der negativen Platte ausgeschiedene und dieser adhärirende Wasserstoffgas, andererseits durch das an der anderen Platte haftende Chlorgas. Durch das Schließen dieser Platten zu einer Kette entwickelte sich nun an der positiven Platte Chlor, das sich mit dem Wasserstoff, und an der negativen Platte Wasserstoff, der sich mit dem Chlor verband.

Eine andere merkwürdige Polarisationserscheinung beim Durchgange magneto-elektrischer Ströme durch Flüssigkeiten beobachtete A. Saweljev *), aus dessen Versuchen auch hervorgeht, daß die einmal auf den Elektroden entwickelten Gase eine sehr lange Zeit denselben adhäriren können **).

Nach den bisherigen Mittheilungen über die galvanische Elektricität kann es nun nicht mehr verwundern, daß dem Anschein nach ganz gleichartige Metalle, wenn sie in eine Flüssigkeit getaucht und durch den Draht eines Multiplicators mit einander verbunden werden, häufig einen Strom von kurzer Dauer geben. Die Bedingung zu demselben ist gegeben, sobald Platten oder Drähte aus einerlei Metall auf ihrer Oberfläche nicht in demselben Zustande von Reinheit sich befinden. Derartige elektrische Strömungen können selbst dann entstehen, wenn man wirklich gleichbeschaffene Metalldrähte nach einander in dieselbe Flüssigkeit taucht und sie hierauf zu einer Kette schließt ***).

In Beziehung zu den besprochenen Polarisationserscheinungen steht der eigenthümliche Zustand chemischer Indifferenz, in den verschiedene Metalle unter gewissen Umständen gerathen können. Eisen z. B., das in gewöhnlicher Salpetersäure vom specif. Gewichte 1,35 lebhaft angegriffen wird, bleibt in derselben manchmal längere Zeit ganz unverändert, und eben so auch, wenn dies der Fall ist, in salpetersaurem Silber und schwefelsaurem Kupfer. Es bekommt diesen Zustand durch Eintauchen in concentrirte Salpetersäure oder durch wiederholtes Eintauchen in verdünnte (von obiger Beschaffenheit), durch Glühen und Anlaufen in der Luft, oder wenn man es einige Augenblicke als positiven Pol einer Volta'schen Säule benutzt. Erhitzt man z. B. das eine Ende eines Eisendrahtes bis zu Anlaufen in einer Weingeistflamme und senkt dann dieses Ende zuerst in verdünnte Salpetersäure, so wird weder dieses, noch das andere später eingesenkte Ende des umgebogenen Drahtes angegriffen. Taucht man einen Platindraht, der mit einem Eisendrahte in metallischer Berührung ist, zuerst und darauf auch den letzterwähnten Draht in die Säure, so zeigt sich dieser chemisch unwirksam. Durch Berührung mit gewöhnlichem Eisen oder Zink, oder wenn man es einige Augenblicke zum negativen Pol einer Säule macht, so daß sich Wasserstoff daran absetzen kann, verliert das Eisen diesen eigenthümlichen Zustand, der in den meisten Fällen auch durch Abwaschen mit Wasser oder durch Abwischen mit Fließpapier, oder durch heftiges

---

*) Bullet. phys. math. de l'acad. de St. Petersb. T. VI. p. 267; Poggend. Ann. Bd. LXXIII. S. 516.

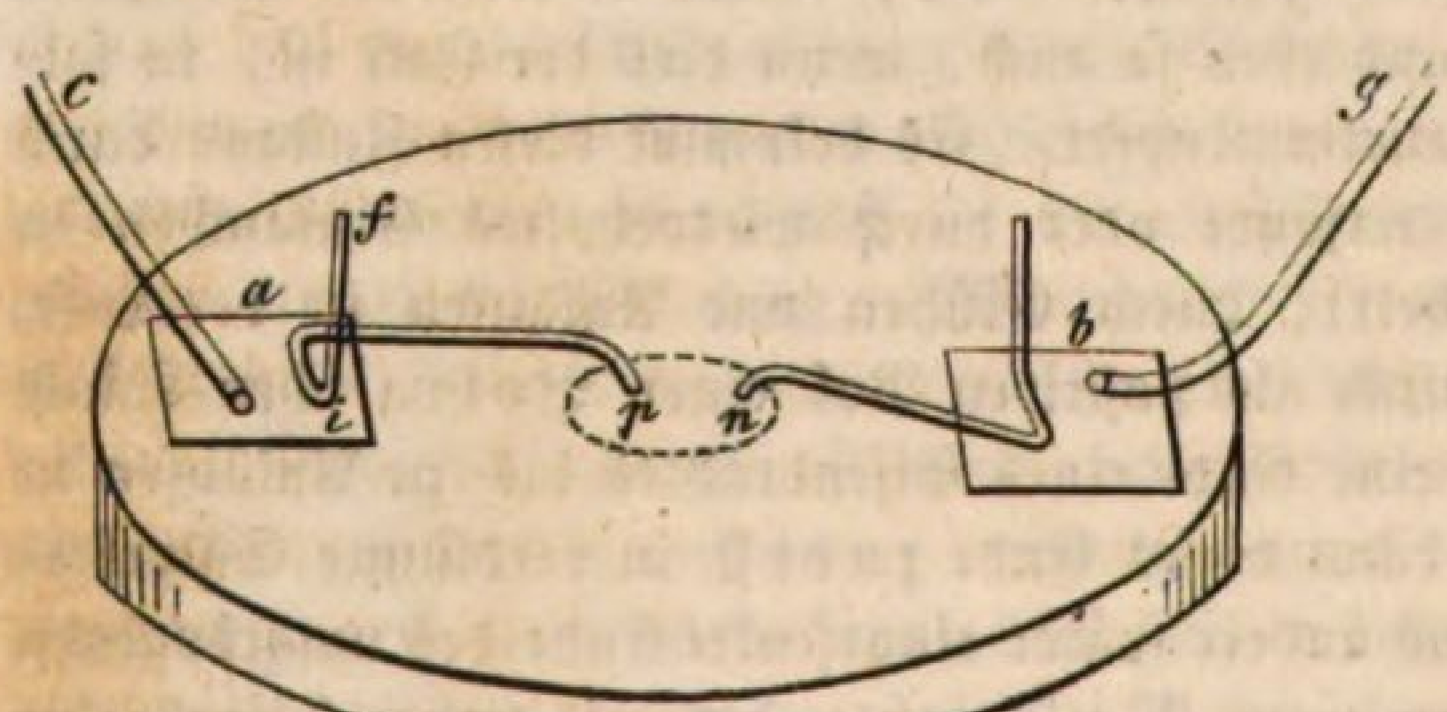
**) Außer dem bereits gegebenen kann über galv. Polarisation noch verglichen werden: Becquerel: Traité de l'Electr. et de Magnét. T. V. P. II. p. 268; Compt. rend T. XXIV. p. 376. T. LXXVIII. p. 35; Ann. de Chim et Phys. Sér. III. T. XIX. p. 401, 422. T. XX. p. 62. T. XXII. p. 257; Poggend. Ann. Bd. LVI. S. 135. Bd. LXVII. S. 497, 528; siehe auch Art. Strom, elektrischer.

***) Siehe Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. XXXIV. S. 241.

Erschüttern des aus der Säure hervorragenden Endes, oder endlich durch Erhitzen der Säure bis zu einem gewissen Grade entfernt werden kann. Doch fand Wetzlar, daß Stahldrähte, die durch eine neutrale Lösung des salpetersauren Silbers empfangene chemische Indifferenz gegen salpetersaure Kupferlösung selbst durch starkes Abreiben mit Fließpapier oder mit einem mit Pariser Roth belegten Leder nicht verlieren. Ein durch Silberlösung indifferent gemachter Draht wurde mit Rostpapier abgerieben, gleich nachher und in den folgenden Stunden gegen jene Kupferlösung wieder wirksam, so daß er dieselbe reducirte, nach längerem Liegen in der Luft erhielt er aber den anfänglichen Zustand von Unwirksamkeit wieder zurück.

Die erwähnten Erscheinungen am Eisen, die sich jedoch in ähnlicher Weise auch bei verschiedenen anderen Metallen kundgeben, sind wahrscheinlich Folgen eines feinen Ueberzugs, wodurch ein eigenthümliches elektromotorisches Verhältniß begründet und der chemischen Thätigkeit in der betreffenden Flüssigkeit eine andere Richtung gegeben wird. Metalle in diesem Zustande chemischer Indifferenz nennt man gewöhnlich passiv, und das ganze Verhalten Passivität, ein von Schönbein eingeführter Ausdruck, der allgemeinen Eingang gefunden hat. Deshalb und weil die Menge hierher gehöriger Thatsachen sehr groß ist, werden wir diesen Gegenstand im Artikel Passivität der Metalle weiter behandeln.

Zum Schlusse unserer Betrachtungen über die chemische Wirksamkeit der Elektricität wollen wir noch hervorheben, daß die Reibungselektricität nach ähnlichen Gesetzen, wie die galvanische, chemische Zerlegungen zu bewirken vermag. Faraday *) benutzte zu diesen Zersetzungen folgende Vorrichtung. Auf eine Glasplatte bringt man zwei Stücke Zinnfolie a und b, von denen das eine durch einen isolirten Draht c oder durch Draht und eine feuchte Schnur (Bindfaden) mit dem positiven Conductor einer Elektrisirmaschine, das andere durch g mit einer guten Ableitung zur Erde oder mit dem negativen Conductor (Reibzeug) verbunden wird.



Zwei Stücke dünnen Platindrahtes, so gebogen, daß der Theil i l beinahe aufrecht steht, während die übrigen auf der Platte ruhen, bilden mit ihren Spitzen p und n die zerlegenden Pole. Zwischen den letzteren wurde nun auf dem Glase ein dicker Strich mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupfer gezogen, jene Drahtenden in denselben gesteckt, und darauf die Folie a mit dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine durch einen Draht und eine feuchte Schnur in Verbindung gesetzt. Zwanzig Umdrehungen der von Faraday gebrauchten Maschine veranlaßten eine Fällung von Kupfer auf das Drahtende n, so daß es wie ein Kupferdraht aussah, während bei p keine sichtbare Aenderung eintrat. Bei Anwendung einer Mischung von Wasser und Salzsäure zu gleichen Theilen, welche durch schwefelsauren Indigo tief blau gefärbt war, zeigte sich nach

*) Poggend. Ann. Bd. XXIX. S. 274 u. 290.

einer einzigen Umdrehung rings um p eine Bleichung in Folge entwickelten Chlors. Bei n dagegen war selbst nach zwanzig Umdrehungen keine Wirkung von der Art sichtbar. Ein Tropfen Jodkalilösung, gemengt mit Stärke wurde in dieselbe Lage bei p und n gebracht. Beim Drehen der Maschine wurde bei p Jod entwickelt, bei n aber nicht.

Dann wurde auch mit der zu untersuchenden Lösung ein Stückchen Fließpapier benetzt, und dies auf das Glas unter die Spitzen p und n gebracht. Das Papier, welches die an diesen Spitzen entwickelte Substanz zurückhält und jede Farbenveränderung sichtbar macht, erlaubt auch die Berührungspunkte zwischen ihm und den Drähten aufs Aeußerste einander zu nähern. Als feines Prüfungsmittel für elektrochemische Actionen bewährte sich Faraday ein Stückchen Papier, befeuchtet mit einer Lösung von Stärkemehl und Jodkalium oder auch von Jodkalium allein. Ein Stückchen Lackmuspapier, befeuchtet mit einer Lösung von Kochsalz oder Glaubersalz wurde schnell bei p, nicht aber bei n, geröthet. Ein Stück Curcumäpapier, das mit einer Lösung von Glaubersalz befeuchtet war, verrieth bei n nach zwanzig bis dreißig Umdrehungen eine reichliche Entwickelung von Alkali. Als ein Stück Lackmuspapier und ein Stück Curcumäpapier, beide mit Glaubersalzlösung befeuchtet, combinirt so auf das Glas gelegt wurden, daß das erstere sich bei p und das letztere sich bei n befand, reichten wenige Umdrehungen der Maschine hin, an jenem die Entwickelung von Säure, an diesem die Entwickelung von Alkali zu zeigen, genau wie bei der Wirkungsweise eines galvanischen Stromes. Alle diese Zersetzungen fanden gleich gut statt, mochte die Elektricität aus der Maschine durch Wasser oder blos durch Draht, mittelst Berührung des Conductors oder mittelst Funken daselbst, in die Folie a übergehen, wenn nur im letzteren Falle die Funken nicht so groß waren, um auch zwischen p und n oder gegen n Funken zu erzeugen. Diese letzteren trüben das Resultat des durch die Reibungselektricität bewirkten chemischen Processes, indem sie in der Luft Salpetersäure erzeugen, welche, wenn die Funken über befeuchtetes Lackmuspapier springen, auf demselben eine Röthung hervorbringt. Bei Curcumäpapier wird dadurch aber das Auftreten des rothen Flecks von dem daselbst frei werden Alkali verhindert. Die Elektricität muß von der Flüssigkeit geleitet werden, wenn der elektrische Proceß rein zu Tage treten soll.

Faraday *) stellte nun noch mancherlei Versuche über die chemische Wirkung der Maschinenelektricität an, indem er die Umstände auf verschiedene Weise abänderte. So wurde ein langes, an einem Ende breites und am anderen zugespitztes Stück Curcumäpapier mit der Salzlösung angefeuchtet und unmittelbar mit der Maschine verbunden, so daß sein zugespitztes Ende sich der Spitze auf der Ableitung gegenüber befand. Beim Umdrehen der Maschine entwickelte sich Alkali an jenem spitzen Ende, und auch dann, als die Ableitung fortgenommen ward, und man die Elektricität ganz allein in die Luft entweichen ließ, wurde da, wo die Elektricität das Curcumäpapier verließ, Alkali frei. Hierauf wurden ein Stück Curcumäpapier und ein Stück Lackmuspapier, beide mit Glaubersalzlösung getränkt, wie die Figur zeigt, zusammengelegt, und dann mit Wachs zwischen den Spitzen zweier



*) Poggend. Ann. Bd. XXXII. S. 402 ff.

Nadeln befestigt, von denen die eine durch einen Draht mit dem positiven Conductor der Maschine, die andere mit dem negativen oder der Ableitung zur Erde verbunden war. Der Zwischenraum zwischen der Papier- und Nadelspitze betrug auf jeder Seite ungefähr einen halben Zoll; die positive Spitze lag dem Lackmus-, die negative dem Curcumäpapier gegenüber. Nach einer gewissen Anzahl von Umdrehungen der Maschine wurde die Lackmusspitze von daselbst entwickelter Säure, die Curcumäspitze durch das gleichzeitig frei gewordene Alkali geröthet.

Ueber sonstige chemische Wirkungen der Reibungselektricität ist der Artikel Flasche, elektrische S. 271 ff. zu vergleichen.

Versuche über die Polarisation, welche Metalldrähte in Flüssigkeiten durch Reibungselektricität erfahren, sind von Henrici *) angestellt worden. Derselbe gebrauchte eine Glasröhre, welche 12 Millimeter weit und an deren unterem Ende ein Platindraht eingeschmolzen war; das oben offene Ende trug aber einen lose aufzusetzenden Pfropfen von gefirnißtem Holz, der oben, zur Aufnahme von Quecksilber, ausgehöhlt, und durch dessen Mitte ein zweiter Platindraht hindurchgeführt war. Das untere Ende des letzteren hatte von dem oberen Ende des eingeschmolzenen Drahtes in allen Versuchen einen Abstand von 60 Millimeter. Diese Röhre wurde mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten nach einander gefüllt und der elektrische Schlag einer Flasche von 2 Quadratfuß äußerer Belegung hindurch geleitet. Nach der Entladung wurden die Platindrähte sogleich mit den Enden eines Multiplicatordrahtes verknüpft und die Ablenkung der Doppelnadel des Galvanometers beobachtet. Die Ladungen der Flasche waren bei allen Versuchen von einer gleichen Stärke gemacht, und die verschiedenen Lösungen in einem concentrirten Zustande angewandt. Wenn bei derselben Flüssigkeit die Ladungen verstärkt wurden, zeigten sich die Ablenkungen diesen Verstärkungen nahezu proportional. Henrici untersuchte nun verschiedene Flüssigkeiten und fand, daß im Allgemeinen die Grade der Ablenkung mit der leichteren Zersetzbarkeit zunahmen. Die stärkste Ablenkung zeigte sich bei Jodkalium. Das Resultat, welches Henrici aus seinen Versuchen zieht, (die er auch durch eine kleine Abänderung des Apparates variirte) ist, daß die Ursache des durch das Galvanometer angezeigten Stromes in einer Polarisirung der Metalldrähte liege. Ungleiche Erwärmung der Platindrähte durch den Entladungsschlag und daraus entspringende Entwickelung von Thermoelektricität könne die Ursache nicht sein, weil jene Erwärmung unter den vorhandenen Umständen überhaupt nicht bedeutend genug zur Hervorbringung eines merklichen Effects gewesen sei. Wenn unmittelbar nach der Entladung andere Drähte statt der bisherigen in die Flüssigkeit getaucht wurden, so gab das Galvanometer keinen Strom zu erkennen. Die Polarität selbst rührt aber her von den Substanzen, die durch den Strom der Reibungselektricität ausgeschieden sich an die Drähte anhängen, woraus sich dann auch leicht erklärt, daß die Stärke der Polarisirung mit der mehr oder minder leichten Zersetzbarkeit im Zusammenhange steht. Blieben die polarisch gewordenen Drähte in der Flüssigkeit hängen, so nahm ihre Polarität sehr rasch ab und verschwand in einer bis anderthalb Minute vollständig. Wesentlich bei diesen Versuchen ist eine möglichst gleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit der beiden Drähte.

---

*) Poggend. Ann. Bd. XLVI. S.

Henrici bemerkte in der Flüssigkeit, nachdem der Entladungsschlag hindurchgegangen, Spuren freier positiver Elektricität, die sich an einem Elektroskop zu erkennen gaben. Bezüglich der Polarität der Drähte stellte Henrici *) noch nachfolgenden Versuch an. Auf eine Glasplatte wurden dicht neben einander Stückchen Lackmus- und Curcumäpapier, die mit der zu untersuchenden Flüssigkeit (Kochsalz, Jodkalium ꝛc.) benäßt waren, gelegt, mit dem einen die Spitze eines die Elektricität zuleitenden, mit dem anderen die Spitze eines dieselbe ableitenden dünnen Platindrahtes in Berührung gebracht und durch dieses System von Leitern der Strom einer wenig kräftigen Cylindermaschine hindurchgeleitet. Sobald nun auf den Papieren die schon früher erwähnten Färbungen (in Folge der Elektrolyse) hervorgetreten, wurden die freien Enden beider Platindrähte mit den Drahtenden des Multiplicators verbunden, wo dann die Ablenkung der Doppelnadel einen dem primären entgegengesetzten secundären, vom Curcumäpapier zum Lackmuspapier gehenden elektrischen Strom zu erkennen gab. Dieselbe Ablenkung erfolgte auch dann noch, als man die beiden Platindrähte mit ihren Spitzen die Reactionspapiere während des Durchganges des elektrischen Stromes durch dieselben gar nicht berühren, sondern um 1 Millimeter von denselben abstehen ließ, und erst nach der Verbindung ihrer freien Enden mit dem Multiplicatordraht in Berührung mit dem Papier brachte. Hier nahmen also die gebrauchten Platindrähte, nach Henrici, keine Polarität an, wovon er sich auch noch dadurch überzeugte, daß er nach bewirkter Zersetzung der Flüssigkeit das damit benetzte Fließpapier fortnahm, ein neues, mit frischer Lösung benäßtes den beiden Drahtspitzen unterlegte, die Verbindung der Drähte mit dem Multiplicator herstellte und dann die Drahtspitzen mit dem Fließpapier in Berührung brachte. Dabei zeigte sich keine Spur von Ablenkung am Multiplicator, wohl aber dann, wenn nicht das Fließpapier, sondern die Platindrähte gegen andere vertauscht und durch diese die angegebenen Verbindungen bewerkstelligt wurden. Aus allen diesen Umständen läßt sich nun allerdings der Schluß ziehen, daß die hier auftretende Polarisation der Metalle ihren Grund habe in einer Berührung der letzteren mit den durch den Strom der Reibungselektricität ausgeschiedenen Bestandtheilen des flüssigen Leiters.

Die physiologischen Wirkungen der galvanischen Elektricität treten zu Tage, wenn man Organismen, namentlich thierische in den Schließungskreis der Kette oder Säule einschaltet, indem man die Poldrähte mit bestimmten Stellen des Körpers in Berührung setzt. Der elektrische Strom durchzieht dann den ganzen Theil des Körpers zwischen den beiden mit den Drähten verbundenen Stellen, äußert aber die stärkste Wirkung an diesen Stellen selbst. Um eine innigere Verbindung der Poldrähte mit den verschiedenen Körpertheilen herstellen, werden diese häufig mit angemessen gestalteten und gebogenen Metallplatten, sogenannten Armaturen (Bewaffnungen) versehen. Die Stellen, an welchen diese Armaturen aufgelegt werden, befeuchtet man überdies, um den Uebergang der Elektricität zu befördern, mit Salzwasser.

*) Poggen. Ann. Bd. XLVII. S. 431.

Wenn man die Hände mit Salzwasser oder einer Salmiakauflösung befeuchtet und dann die beiden Pole berührt, so erhält man einen Schlag, dessen Stärke mit der Anzahl der Plattenpaare zunimmt. Um ihn zu verstärken, kann man größere Metallstücke in die Hände nehmen und damit die Pole berühren oder auch die Hände in zwei mit Salzwasser gefüllte Schalen tauchen, welche durch Drähte mit den Polen verbunden sind. Auch der Schlag einer Volta'schen Säule kann wie der einer Leidner Flasche durch mehrere Personen zugleich geleitet werden, wenn diese sich mit befeuchteten Händen anfassen. Da man nun nicht allein beim Schließen, sondern auch beim Oeffnen der Säule einen Schlag erhält, so kann die Wirkung auf die Nerven und Muskeln sehr gesteigert werden, wenn man die galvanische Kette in rascher Aufeinanderfolge öffnet und wieder schließt, während der Körper in dem Schließungskreise eingeschaltet bleibt. Zu diesem Zwecke läßt sich das Neeff'sche Blitzrad zweckmäßig verwenden. Dasselbe ist in dem betreffenden Artikel (Bd. I. S. 857) beschrieben und daselbst ist auch eine Darstellung der Wirkungen gegeben, welche mit Hülfe dieser Vorrichtung am menschlichen Körper zur Erscheinung gelangen.

Ritter, der sich sehr viel mit den physiologischen Wirkungen der Säule beschäftigte, glaubte in den Wirkungen des negativen und positiven Pols derselben einen gewissen Gegensatz zu erkennen *). Zu seinen Versuchen hierüber gebrauchte er meist eine Säule von 60 bis 100 Plattenpaaren, welche durch mit Kochsalzauflösung genäßte Pappen von einander getrennt waren. Mit den Polen dieser Säule wurde ein Finger von jeder Hand, der zuvor recht feucht gemacht, mittel- oder unmittelbar in Verbindung gebracht. Der Schlag gab dann in beiden Fingern eine Verschiedenheit in seiner Qualität zu erkennen. „Der Finger auf der negativen Seite wird von seinem Verbindungsorte mit der Säule aus nach innen zu wie in geraden Linien schneidend durchdrungen. Alles, was sich mit diesem Finger im Augenblicke des Schlages zuträgt, geschieht ihm, wie von Außen nach Innen, und man kann den ganzen Vorgang mit keinem kürzeren Namen als dem einer Contraction im eigentlichsten Sinne des Wortes belegen. Dem Finger auf der positiven Seite hingegen wird im Augenblicke des Schlages seine Hülle gleichsam zu eng, es ist ein Drängen und Treiben, als wollte er aus sich selber heraus. Statt daß vorhin Alles in schneidenden Strahlen nach Innen hineinging, will hier Alles von Innen nach Außen. Der Finger befindet sich in einem Zustande von Auftreibung und Spannung, genau, wie wenn er entzündet und angeschwollen wäre. Mit einem Worte, es kann dafür am passendsten der Ausdruck Expansion gebraucht werden." Diese Charakteristik des Schlages bleibt richtig, welches auch immer die Theile des Körpers sein mögen, die mit der Säule in Verbindung kommen. Schließt man z. B. mit der Zunge am positiven Pole die Säule, während man mit der Hand oder einem anderen Theil den negativen Pol berührt, so läßt der Schlag, den sie dabei erhält und der auch an sich schon recht deutlich wie ein Stoß von Innen nach Außen empfunden wird, auf der Stelle, mit der geschlossen wurde, genau einen Eindruck zurück, als ob von dem Schlage eine Beule auf ihr entstanden wäre. Schließt man dagegen mit ihr auf der negativen Seite die Säule, so läßt der wie ein Stoß von Außen nach Innen gefühlte Schlag ganz

*) Ritter: Beiträge zur näheren Kenntniß des Galvanismus. Bd. II. 2. St. S. 32.

genau den Eindruck zurück, als ob ein Loch in die Zunge geschlagen wäre. Aehnliche Unterschiede zeigen sich nach Ritter bei Nase, Ohr und Auge. Mit diesen Beobachtungen stimmen jedoch die Versuche anderer Physiker nicht durchaus überein, wenigstens sollen die Gegensätze, wie sie Ritter geschildert, nicht so scharf auftreten.

Die Muskeln frisch getödteter Thiere werden durch den galvanischen Strom ebenfalls in heftige Zuckungen versetzt. An frischen Leichen von Gehängten beobachteten Ure und Aldini Bewegungen der Hände und Füße, Oeffnen und Schließen der Augen, und die heftigsten Verzerrungen des Gesichts; selbst der Athmungsproceß wurde durch den Strom auf einige Augenblicke wieder angefacht. Ure brachte einen Metallstab, der mit dem einen Pole einer Säule aus 270 Plattenpaaren, die mit verdünnter Schwefelsäure aufgebaut waren, mit dem Rückenmark eines vor einer Stunde Gehängten in Berührung, während der andere Leitungsstab den ischiadischen Nerven (nach gehöriger Bloslegung dieser Theile) berührte. Sogleich geriethen alle Muskeln des Körpers in heftige krampfhafte Bewegungen, die einem heftigen Frostschauer glichen. Wurde der zweite Stab auf die Ferse (in einen Einschnitt) gebracht, nachdem das Knie vorher gebeugt worden war, so streckte sich der Schenkel mit einer solchen unwiderstehlichen Gewalt aus, daß er einen der dabei Stehenden beinahe umwarf. Als die Spitze des einen Poldrahtes mit dem großen Kopfe des Zwerchfelles in Berührung gesetzt ward, während die andere den Zwerchfellsnerven im Rücken berührte, und nur der eine Draht an der Säule vom 220sten bis zum 270sten Plattenpaare fortgeführt wurde, so daß mehrere schnell hinter einander folgende an Stärke zunehmende Entladungen erfolgten, trat augenblicklich ein tiefes, ja angestrengtes Athmen ein. Der Brustkasten hob sich und sank nieder; der Leib trat hervor und fiel wieder zusammen; das Zwergfell erschlaffte und stieg wieder in die Höhe. Wenn der eine Draht an den Supraorbitalnerven, der andere auf die Ferse gerichtet wurde, erfolgten außerordentliche Verzerrungen, so oft die Säule wie vorhin entladen wurde. Die Gesichtsmuskeln geriethen in furchtbare Thätigkeit, so daß Wuth, Schreck, Angst und ein fürchterliches Lächeln sich nach einander in dem Gesichte ausdrückten. Als mit dem einen Poldraht am Rückenmark, mit dem anderen am Armnerven wie vorhin geschlossen ward, bewegten sich die Finger schnell wie die eines Violinspielers, und ein Gehülfe suchte vergebens die Hand zur Faust zu ballen.

Nicht allein die Säule, sondern auch schon eine einfache Kette bringt im thierischen Organismus ähnliche Wirkungen hervor. Verbindet man nach Achard die Mundhöhle und den After eines Menschen durch Zink und Silber, so entstehen Schmerzen im Unterleibe, die Thätigkeit des Magens nimmt zu und es entsteht eine Veränderung der Excremente. Als Humboldt das Silber etwas tiefer in den After hineinschob, so nahm er helle Bitze vor beiden Augen wahr. Humboldt hat auch ähnliche Versuche mit verschiedenen Thieren angestellt. Nachdem ein sterbender Hänfling den letzten sichtbaren Athemzug gethan, die Augen geschlossen hatte, auf dem Rücken lag und durch mechanisches Prickeln am After keine Spur von Bewegung mehr hervorgebracht wurde, steckte ihm Humboldt ein Zinkplättchen zwischen den Schnabel und Silber in den After und verband die beiden Metalle durch eine eiserne Kette. Alsbald öffnete der Hänfling die Augen, richtete sich auf und schlug mit den Flügeln. Er athmete ungehindert wieder 6 bis 8 Minuten, worauf er aufs Neue umsank und ruhig starb. Bindet man

einem lebendigen unversehrten Frosch mit einem seidenen Faden die Hinterschenkel zusammen und setzt ihn mit dem Steiß auf Zink, so kann man ihn mit Zink im After reizen, ohne daß er sich wirklich bewegt. So wie man ihn aber mit Silber berührt, sprengt er die Fäden und thut oft einen 8 Zoll weiten Satz.

Legt man einen lebenden Blutegel auf eine Zinkscheibe, die auf einer etwas größeren Kupfer- oder Silbermünze liegt, so prallt der Blutegel, wenn er beim Herumkriechen das untere Metall berührt und so die galvanische Kettte schließt, convulsivisch zurück.

Die Empfänglichkeit für die Wirkungen der galvanischen Elektricität im thierischen Körper hört einige Zeit nach dessen Tode völlig auf. Warmblütige Thiere verlieren diese Reizbarkeit nach dem Tode am schnellsten; länger dagegen behalten sie die kaltblütigen Thiere, namentlich die Frösche. Die Erregbarkeit der letzteren dauert zuweilen Tage lang nach dem Tode fort, indem sie allmälig mehr und mehr bis zum völligen Verschwinden abnimmt. Die schon herabgestimmte Reizbarkeit von Froschschenkel läßt sich aber nach Humboldt durch Eintauchen in Chloraufslösung oder alkalische Auflösungen wieder erhöhen. Im Allgemeinen haben die Frösche ihre größte Reizbarkeit zu Anfang des Frühlings und nach Humboldt ist zur Zeit der Begattung die Reizbarkeit beim männlichen Frosche in den vorderen Extremitäten stärker als in den hinteren. Die Weibchen besitzen aber im Allgemeinen eine größere Erregbarkeit, besonders in den hinteren Extremitäten, als die Männchen; endlich ist die Reizbarkeit jüngerer Frösche größer als die der alten.

Die Versuche an Froschpräparaten, von denen wir bereits einige Beispiele gegeben, wurden schon in den ersten Zeiten nach der Entdeckung des Galvanismus vielfach abgeändert, und ähnliche Versuche auch an Thieren aus den übrigen Classen angestellt *). Verschiedenes hierauf bezügliche mit Rücksicht auf neuere Versuche soll im Artikel: Thierische Elektricität zur Darstellung kommen.

Die Wirkungen des Galvanismus auf die verschiedenen Sinnesorgane, insbesondere auf das Geschmacks- und Sehorgan lassen sich schon durch eine einfache Kette zur Wahrnehmung bringen. Man lege einen Zinkstreifen auf und ein Stück Silber, etwa einen silbernen Theelöffel unter die Zunge, so empfindet man einen eigenthümlichen Geschmack, so oft man die vorderen Enden beider Metalle mit einander in Berührung bringt. Wenn das Zink, wie eben angenommen, oben liegt, so ist der Geschmack säuerlich, dagegen etwas bitter oder schwach laugenhaft (alkalisch), falls das Silber oben liegt. Diese eigenthümliche Geschmacksempfindung, welche durch die Berührung zweier verschiedenartiger Metalle unter einander und mit der Zungenfeuchtigkeit hervorgerufen wird, wat schon vor der Entdeckung des Galvanismus von Sulzer **) im Jahre 1760 wahrgenommen worden. Derselbe beschreibt den eben angeführten Versuch mit den Worten: Wenn man zwei Stücke Metall, ein bleiernes und ein silbernes, so mit einander vereinigt, daß ihre Ränder eine Fläche ausmachen, und man bringt sie an die Zunge, so wird man

---

*) Pfaff: Ueber thierische Elektricität und Reizbarkeit. Leipzig 1795. Humboldt: Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser nebst Vermuthungen über den galvanischen Proceß des Lebens. Posen u. Berlin 1797.

**) Vermischte Schriften zur Beförderung der schönen Wissenschaften und Künste, Bd. V.; und Göttinger Taschenkalender für 1794. S. 186.

einen gewissen Geschmack daran merken, der dem Geschmack des Eisenvitriols ziemlich nahe kommt, da doch jedes Stück besonders nicht die geringste Spur von diesem Geschmack hat. Auch fügt er noch hinzu: daß die Vereinigung dieser Metalle in einem von beiden oder in allen beiden eine zitternde Bewegung in ihren Theilchen verursache, und daß diese zitternde Bewegung, welche nothwendig die Nerven der Zunge rege machen müsse, obenerwähnten Geschmack hervorbringe.

Bei hinreichender Empfindlichkeit verräth sich die eigentliche Geschmacksempfindung schon dann, wenn man nur das eine Metall auf die Zunge bringt, während das andere an dem Zahnfleisch, dem Gaumen, den Lippen, den feuchten Fingerspitzen 2c. anliegt. Selbst die Berührung des einen oder anderen Metalls mit der Zunge ist nicht durchaus erforderlich. Man fülle einen kleinen Becher von Zink mit Wasser und tauche in das letztere die Zungenspitze, während man den mit nassen Fingern gefaßten silbernen Löffel an die Außenseite des Bechers drückt. Alsbald wird man einen säuerlichen brennenden Geschmack empfinden. Fassen sich aber zwei Personen mit nassen Händen, von denen die eine das Zink, die andere das Silber auf der Zunge hat; so empfindet jene einen sauren, diese einen laugenhaften Geschmack, wenn die Metalle mit einander verbunden werden.

Die Erfahrung, daß Flüssigkeiten, wie Wasser, Wein aus zinnernen oder silbernen Gefäßen getrunken anders schmecken als aus gläsernen, kann gleichfalls hierher gerechnet werden, indem die Zunge dort von dem Strome einer Kette afficirt wird, deren Glieder das Getränk, die Feuchtigkeit der Lippen und das metallische Gefäß selbst sind.

Legt man ein längliches Stück Zink an das Zahnfleisch der oberen Backenzähne und ein Stück Silber, z. B. einen silbernen Löffel, an dieselbe Stelle auf der anderen Seite des Mundes, so gewahrt man in dem Augenblick, wo die aus dem Munde hervorragenden Enden der beiden Metalle mit einander in Berührung gebracht werden, einen blitzähnlichen Lichtschein. Man kann auch das eine Metall auf den Augapfel oder auf das angefeuchtete Augenlied legen und das andere in den Mund nehmen, oder zwischen die Augenlieder ein Stück reines Zink bringen, und dasselbe mit einem Stück Silber, das mit feuchten Fingern gehalten wird, berühren. So oft man die Verbindung beider Metalle herstellt oder wieder aufhebt, sieht man vor den geschlossenen Augen einen Lichtblitz. Das galvanische Leuchten ist in der Dunkelheit der Nacht lebhafter als bei Tage. Bei einer Säule von etwa 20 bis 30 Paaren nimmt man dasselbe Leuchten wahr, wenn man sich mittelst der Hand mit dem einen Pole der Säule in die gehörige Verbindung setzt und an die Spitze eines Metalldrahtes, der mit dem anderen Pole verbunden ist, das Auge oder irgend einen anderen Theil des Gesichts, den man vorher angefeuchtet hat, bringt. Doch ist die Gestalt und Stärke dieses Lichtes nach den Stellen, auf welche man den elektrischen Strom richtet, ein wenig verschieden.

Auf die Organe des Geruchs und Gehöres zeigt die einfache Kette nur geringe Einwirkungen in Bezug auf die diesen Organen eigenthümlichen Wahrnehmungen. Führt man aber die vorn abgerundeten Poldrähte einer Säule von etwa 40 Plattenpaaren so tief wie möglich in beide Ohren ein, so empfindet man im Augenblicke der Schließung, wie schon Volta wahrgenommen hatte, eine Erschütterung im Kopfe und nachher ein eigenthümliches Geräusch, eine Art von Zischen oder stoßweisen Bollern. Nach Ritter ist dieses Geräusch von einem scheinbaren Ton begleitet, der, wenn beide Ohren zugleich in der Kette sind, als

das g der eingestrichenen Octave zu unterscheiden sei, während, wenn blos das eine Ohr in der Kette sich befindet, am positiven Pol ein höherer, an dem negativen ein tieferer Ton als $\bar{g}$ empfunden werde. Wenn man den positiven Poldraht in die Nasenhöhle einführt, so entsteht nach Ritter Trockenheit, Spannung und ein saurer Geruch, während der negative einen Geruch nach Ammonium, Vermehrung der Absonderung und einen Drang zum Niesen hervorbringen soll.

Es ist eine längst bekannte Erfahrung, daß die Reibungselektricität, namentlich wenn sie aus Spitzen hervorströmt, einen eigenthümlichen Geruch verbreitet, der nun, nach neueren Wahrnehmungen, auch bei der Zersetzung des Wassers durch den galvanischen Strom sich einstellt. Zugleich mit den Sauerstoff entwickelt sich nämlich an der positiven Polplatte eine riechende Substanz, welcher Schönbein den Namen Ozon gegeben hat, und worüber man das Weitere in dem Artikel gleichen Namens finden wird.

In ähnlicher Weise wie die gewöhnliche Maschinenelektricität (s. d. Artikel Elektrisirmaschine) hat man auch die galvanische Elektricität als Heilmittel bei verschiedenen Krankheiten, namentlich bei solchen, welche auf einer Lähmung oder Unthätigkeit der Nerven und Gefäße beruhen, benutzt. Doch gebraucht man zu diesem Behufe jetzt vorzugsweise die sogenannten Inductionsapparate *).

Theorie der galvanischen Erscheinungen.

Die Thatsache der Berührungselektricität wollen wir zunächst unter der Voraussetzung betrachten, daß ein elektrisches Fluidum existirt, sei dasselbe nur ein in sich gleichartiges, oder nach Symmer's Hypothese, aus zwei entgegengesetzten Bestandtheilen, einer positiven und negativen Elektricität, zusammengesetzt. Jeder Körper im natürlichen Zustande enthält nach dieser letzteren Ansicht die positive und negative Elektricität in gleicher Menge, so daß sie gewissermaßen ein neutrales Product bilden; oder man stellt sich vor, daß beide Elektricitäten, ohne gerade ein solches Product zu bilden, an jedem Punkte des Körpers sich das Gleichgewicht halten. Kommen nun zwei ungleichartige Körper, die wir mit M und N bezeichnen wollen, mit einander in Berührung, so ist es möglich, daß die Massentheilchen von M eine stärkere Anziehung auf die negative Elektricität ausüben als die von N. Darum werden von den Berührungsstellen aus Theilchen der negativen Elektricität von N nach M übergehen, die gleichnamig elektrischen Elemente des letzteren Körpers zurückstoßen und sich so weiter auf dessen Oberfläche zu verbreiten suchen. Während aber negativ elektrische Elemente von N nach M gehen, werden Theilchen der positiven Elektricität umgekehrt von M nach N wandern, falls dieser Körper eine stärkere Anziehung als jener auf die + E ausübt. Dieser Austausch soll nun so lange stattfinden, bis ihm durch das Ausgleichungsstreben der beiden auf M und N vorhandenen entgegengesetzten Elektricitäten eine Grenze gesetzt wird.

---

*) In historischer Hinsicht sind zu vergleichen: F. B. Trommsdorff: Geschichte des Galvanismus oder der galvanischen Elektricität, 2. Aufl. Erfurt 1808. Geschichte des Galvanismus nach Sue, frei bearbeitet von J. C. L. Reinhold. Leipzig 1803. Geschichtliche Darstellung des Galvanismus von Seyffer. 1848.

Nimmt man nur Ein elektisches Fluidum an, das allenthalben in der Natur verbreitet ist (s. d. Art. Elektricität), so werden die unter sich gleichartigen Elemente desselben die Massentheilchen der Körper umgeben, und der Oberfläche eines jeden Körpers wird eine elektrische Schicht gewissermaßen adhäriren, deren Elemente jedoch sowohl unter einander als auch in Hinsicht auf die Umgebung im Gleichgewichte sind. Reflectirt man aber auf zwei ungleichartige Körper M und N, so ist zu erwarten, daß die Spannungsverhältnisse der elektrischen Schicht auf ihren Oberflächen nicht durchaus von gleicher quantitativer Beschaffenheit sind. Und dieser Unterschied, bedingt durch die materielle Verschiedenheit beider Körper, wird sich geltend machen, wenn dieselben mit einander in Contact gerathen. In diesem Falle kann die Repulsion beider Körper gegen das Elektricum nicht mehr im Gleichgewichte stehen, und die nothwendige Folge davon ist, daß eine bestimmte Quantität desselben aus dem einen Körper, etwa aus M in den anderen N übergeht. Beide Körper befinden sich nun in entgegengesetzt elektrischen Zuständen; M enthält weniger, N dagegen mehr Elektricität als sonst, jener ist geneigt, einige Elektricität von Außen her aufzunehmen, während dieser sich der empfangenen Elektricität theilweise zu entledigen sucht. Der gegenseitigen Ausgleichung des elektrischen Gegensatzes beider Körper (wozu das Streben vorhanden ist) steht ihre materielle Verschiedenheit entgegen, die so lange einen Erfolg hat, als die Berührung dieser Körper dauert. Führt man aber den einen oder anderen Körper durch ableitende Berührung mehr oder weniger in den gewöhnlichen Zustand zurück, so wächst in denselben Maße die Intensität des entgegengesetzt elektrischen Zustandes in dem anderen. Theilt man z. B. dem Körper M etwas Elektricum mit, so hat dieses das durch den materiellen Gegensatz beider Körper bedingte Streben, nach N überzugehen, und wenn auch kein wirklicher Uebergang stattfindet, weil N die dem genannten Gegensatze entsprechende Menge von Elektricität schon aufgenommen hat, so wird doch die Spannung dieser letzteren in Folge jenes Strebens nothwendig gesteigert werden. Wenn man umgekehrt dem Körper N etwas von der Elektricität entzieht, die er von M empfangen hat, so fällt damit ein Gegendruck fort, und in dem Grade als dies geschieht, wächst die Fähigkeit des M, Elektricität von Außen her anzunehmen.

Wenn man nun die Existenz nur einer Elektricität anerkennt, so haben wir nach Ueberlegungen, die im Artikel Elektricität dargelegt, der Wahrscheinlichkeit gemäß den positiv elektrischen Zustand als denjenigen zu betrachten, worin ein Körper weniger Elektricität als im gewöhnlichen Zustande enthält, während der sogenannte negative einen Ueberfluß an E bedeutet. Dies wollen wir für die nachstehenden Betrachtungen, deren Object die Erklärung einer Reihe galvanischer Erscheinung auf Grund der Annahme Eines elektrischen Fluidums ist, festhalten.

Wird mit dem negativen Pole einer galvanischen Kette oder Säule ein Metalldraht verbunden, so wird das an diesem Pole angehäufte Elektricum zunächst einen Druck ausüben auf die dem Drahte eigenthümliche Elektricität, so daß dieselbe nach der anderen Seite, d. h. nach dem freien Ende des Drahtes hin eine Verschiebung erleidet. Dieses Drahtende wird daher mit Elektricität in einem gewissen Maße geladen oder negativ elektrisirt, und dann läßt sich das dem Pole zugekehrte Ende als positiv elektrisch betrachten. Etwas ganz Aehnliches, nur im umgekehrten Sinne, geschieht, wenn man mit dem positiven Pole einen Draht verbindet. Das in diesem Drahte bisher im Gleichgewichte mit sich selbst vorhandene Elektricum

zieht sich dann nach dem genannten Pole hin, wodurch das freie Ende des Drahtes positiv, d. h. seiner eigenen Elektricität in bestimmtem Maße beraubt wird, während das andere dem (positiven) Pole zugewandte Ende eine negativ elektrische Ladung annimmt. Bringt man aber beide Drahtenden mit einander in Berührung, so findet eine Ausgleichung dieser entgegengesetzt elektrischen Zustände statt, indem das an dem negativen Drahtende angehäufte Elektricum in die positive Spitze des anderen Drahtes einzudringen sucht. Sobald hier das Eindringen geschieht, dringt zugleich die an dem negativen Pole selbst angesammelte Elektricität in den mit ihm in Verbindung stehenden Draht ein, und hiermit stellen sich die entgegengesetzt elektrischen Zustände sowohl im Schließungsbogen als auch in der Kette selbst wieder her. Die Ausgleichung des elektrischen Gegensatzes ist also fast unmittelbar verbunden mit dessen Wiederherstellung, so lange die Contactverhältnisse der Kette keine Veränderung erfahren haben.

In dem Augenblicke, wo die Elektricität des negativen Drahtes in den anderen überzugehen strebt, besteht eine Anziehung zwischen den Elementen der übergehenden Elektricität einerseits und dem positiven Drahtende andererseits; in dem Moment des Eindringens selbst aber findet eine Verdichtung und in Folge dessen eine Repulsion zwischen den Elementen des von der negativen Seite herübergekommen Elektricums statt, so daß dieses weiter nach dem positiven Pole hindrängt, während die in dessen Nähe schon vorher angesammelte Elektricität auf demselben sich verbreitet. Jene Repulsion wirkt zwar nach allen Richtungen, aber ihrer Gewalt ist vorzugsweise das die Elektricität des negativen Drahtes empfangende Ende des positiven ausgesetzt, also diejenigen Punkte, an welchen die übergehende Elektricität verdichtet und von denen aus sie weiter nach der entgegengesetzten Seite hin verbreitet wird. Von hier aus werden denn auch, auf Grund derselben Repulsion, materielle Theilchen in den Raum fortgestoßen, die jedoch in Folge der Anziehung, welche die an der negativen Spitze sich fortdauernd ansammelnde Elektricität ausübt, einen Zug nach dieser Seite hin erhalten und sich hier vorzugsweise anhäufen. Da das Elektricum auf der negativen Seite hervorbricht, so haben wir hier die ihm eigenthümliche Lichterscheinung zu erwarten; jene Repulsion am positiven Polende aber ist die Ursache von der hier beobachteten Auflockerung der Substanz, aus der dieses Ende besteht, und im Verein mit der von der negativen Seite her ausgeübten elektrischen Anziehung erklärt sich daraus die Thatsache, daß der Transport der materiellen Theilchen vorzugsweise von der positiven nach der negativen Seite hin geschieht. Nun ist noch Eines zu bedenken. Bei der Annahme eines einzigen elektrischen Fluidums haben nämlich die erfahrungsmäßig gegebenen Verhältnisse der Säule ihren Grund gewissermaßen in einer Verschiebung des Elektricums von der positiven nach der negativen Seite hin, und wenn die Säule geschlossen wird, setzt sich diese Verschiebung im Schließungsbogen fort, aber vom negativen nach dem positiven Pole zu. Im Moment der Ausgleichung des elektrischen Gegensatzes suchen nun die Elemente des Elektricums in ihre Gleichgewichtslage, welche den gewöhnlichen Zustand der Körper bedingt, zurückzukehren, ein Streben, das freilich, so lange die geschlossene galvanische Kette als solche existirt, sich nicht realisiren kann. Mit diesem Streben ist aber während der Ausgleichung eine Rückwirkung verbunden, welche dem Drange der Elektricität im Schließungsbogen entgegen, also von dem positiven nach dem negativen Pole hingekehrt ist. Die Massentheilchen des Leiters nun, indem sie die mechanische Gewalt dieser Rück-

wirkung auszuhalten haben, gerathen in eine schwingende Bewegung, welche eine Wärmeentwickelung, vorzugsweise von der positiven nach der negativen Seite hin, zur Folge hat.

Betrachten wir nun, auf demselben Wege fortschreitend, die chemischen Wirkungen der Elektricität.

Tauchen die beiden Poldrähte oder Polplatten einer galvanischen Kette in eine zusammengesetzte Flüssigkeit, so wird die an dem negativen Drahtende angehäufte Elektricität in diese Flüssigkeit einzudringen und das in derselben vorhandene Elektricum zu vertheilen, d. h. nach der entgegengesetzten Seite hin zu verdrängen suchen. Besteht aber die Flüssigkeit aus zwei heterogenen Bestandtheilen, so wird die Elektricität (am negativen Drahtende) den einen dieser Bestandtheile vorzugsweise ergreifen und dadurch eine besondere Anordnung derselben auf dem Wege zwischen beiden Drähten bewirken. Nehmen wir nun an, was wahrscheinlich ist, daß nämlich nicht blos größere Massen von verschiedener materieller Beschaffenheit, sondern auch die kleinsten Theilchen ungleichartiger Stoffe durch gegenseitige Berührung in entgegengesetzt elektrische Zustände gerathen, so wird, wenn wir uns beispielsweise Salzsäure (Chlorwasserstoff) zwischen den Polplatten eingeschaltet denken, in jedem kleinsten Massentheilchen dieser Flüssigkeit, das aus 1 Atom Chlor und 1 Atom Wasserstoff besteht, das Chloraton als negativ, das Wasserstoffatom dagegen als positiv elektrisch zu betrachten sein. In nebenstehender Figur stelle jedes Kügelchen ein kleines Salzsäuretheilchen (Chlorwasserstoffmolecül) vor, und zwar die schwarze Hälfte das Wasserstoff-, die weiße das Chloratom.



Die aus der negativen Polplatte hervordringende Elektricität wird also das Wasserstoffatom des nächsten Salzsäuretheilchen ergreifen und das mit ihm verbundene Chloratom nach der anderen Seite wenden, indem sie die dem letzteren adhärirende Elektricität zurücktreibt. Dadurch gewinnt aber dieses Atom eine stärkere Affinität zu dem Wasserstoffelement des zweiten Salzsäuretheilchens, und wenn es dasselbe ergreift, so wird das betreffende Chloratom nach der entgegengesetzten Seite gerichtet, während der von der negativen Seite herkommende elektrische Druck sich auf das letztere überträgt und dessen Elektricität nach dem positiven Pole hin zu größerer Spannung aufregt. Dies geht so fort bis zu dem letzten Massentheilchen, das mit der positiven Platte in nächster Berührung ist. Die Anordnung der Bestandtheile ist dann die in der Figur angegebene. Erfolgt nun die Entladung, so wird in demselben Augenblicke, wo die aus der negativen Platte hervordringende Elektricität dem zunächst gelegenen Salzsäuretheilchen seinen Wasserstoff entzieht, auch das Chloratom des mit der positiven Polpatte in Berührung stehenden Massentheilchens 6 frei werden, während zugleich das Chloratom des Theilchens 1 sich mit dem Wasserstoffatom von 2 und das Chlor von 2 mit dem Wasserstoff von 3 u. s. f. verbindet. Damit kehren die dazwischen liegenden Theilchen wieder in ihre gewöhnlichen elektrischen Verhältnisse zurück, freilich nur, um gleich darauf dieselbe Einwirkung aufs Neue zu erfahren. Und so wird dann die Flüssigkeit durch Wiederholung dieses Processes allmälig zersetzt.

Nach der eben gegebenen Darstellung besteht der elektrische Strom nicht etwa blos in einem einseitigen Fließen der Elektricität von dem negativen Pole der Kette

nach dem positiven hin, sondern es wird auch die der Flüssigkeit eigenthümliche Elektricität zu einer bestimmten Thätigkeit aufgeregt. Bei der Entladung der Kette dringt aus dem negativen Poldraht eine gewisse Quantität des Elektricums in die Flüssigkeit ein, aber eben so viel nimmt der positive Pol von der letzteren auf, während zugleich in der eingeschalteten Flüssigkeit eine elektrische Entladung von einem Massentheilchen zum anderen stattfindet. Und in diesem Sinne läßt sich streng behaupten das von Faraday aufgestellte *) Gesetz, daß die Elektricität, welche eine gewisse Menge von Substanz zersetzt, und die, welche bei der Zersetzung derselben Menge entwickelt wird, einander gleich sind.

Man wird jetzt leicht erkennen, daß der beschriebene elektrochemische Proceß auch dann noch stattfinden kann, wenn der eine Poldraht der Kette mit der zu zerlegenden Flüssigkeit nicht unmittelbar, sondern durch Vermittelung eines anderen tropfbaren Körpers in leitender Gemeinschaft steht. Hierher gehört ein von Faraday angestellter Versuch. Man theile nämlich ein Glasgefäß von etwa 4 Zoll Durchmesser durch eine Glimmerplatte oben in zwei Fächer und gieße eine concentrirte Lösung von schwefelsaurer Magnesia hinein, bis sie ungefähr 1 Zoll über den unteren Rand der Scheidewand reicht. Alsdann gieße man in das eine Fach eine Schicht destillirten Wassers vorsichtig auf die Bittersalzlösung, so daß es sich mit dieser nicht mischt. Befindet sich nun in der Salzlösung eine Platinplatte, welche man mit dem positiven Pole einer starken Kette verbindet, während man eine andere, die mit dem negativen Pole der Kette in Verbindung steht, in horizontaler Lage blos in das Wasser bringt, so verbreitet sich der von dieser Platte ausgehende elektrische Druck durch das Wasser in die Salzlösung und zerlegt diese in der angegebenen Weise. Die Magnesia erscheint dann immer noch auf der Seite der negativen Polplatte, nur nicht an ihr selbst, sondern an der Grenzfläche zwischen Wasser und Salzlösung.

Sind drei Gefäße der Reihe nach mit derselben Salzlösung gefüllt, und ist das mittlere Gefäß mit den beiden äußeren durch Glasröhren, die ebenfalls jene Lösung enthalten, oder durch angefeuchtete Asbestfäden verbunden, so hängt die Flüssigkeit durchgehend zusammen und die Elektrolyse geschieht ganz in derselben Weise, als wenn die Flüssigkeit in einem und demselben Gefäße zwischen den Poldrähten eingeschaltet wäre. In dem einen der äußeren Gefäße, worin der positive Draht steht, erscheint die Säure, in dem anderen das Alkali. Wird dagegen die Verbindung der Gefäße durch Metalldrähte bewerkstelligt, so erscheinen in jedem Gefäße beide Bestandtheile der Flüssigkeit, und zwar auf der einen Seite die Säure, auf der entgegengesetzten das Alkali, was man sogleich an der Färbung der Flüssigkeit erkennt, wenn diese zuvor durch einen Pflanzensaft etwa blau gefärbt war. Es mögen die Linien a, b und c drei Metalldrähte vorstellen, zwischen denen eine Salzlösung befindlich ist.

c —   + *b* —   + *a*

a sei mit dem positiven Pol der Säule, c mit dem negativen in Verbindung. Dann wird der von diesem Pole herrührende elektrische Druck in dem Schließungskreise eine Vertheilung der Elektricität veranlassen, die an den Drähten durch die bekannten Zeichen + und — angedeutet ist. Bei der Entladung wird aber die

*) Poggend. Ann. Bd. XXXIII. S. 481. 517.

Elektrolyse demgemäß nothwendig so vorgehen, daß das Alkali an den negativen Enden der Drähte c und b, die Säure dagegen an den positiven Seiten von b und a auftritt.

Die gegebenen Erklärungen beziehen sich sämmtlich, wie zu Anfang bemerkt ist, auf Ein elektrisches Fluidum. Nimmt man zwei entgegengesetzte elektrische Fluida an, so hat man sich den einen Bestandtheil der zu zersetzenden Flüssigkeit mit der positiven, den anderen mit der negativen Elektricität verbunden zu denken, während die entgegengesetzten Elektricitäten aus der Kette von zwei Seiten her in die Flüssigkeit einzudringen suchen. An dem positiven Pol wird dann der eine, an dem negativen der andere Bestandtheil der zunächst gelegenen Flüssigkeitstheilchen ergriffen, womit denn auch den Atomen der dazwischen liegenden Theilchen die entsprechende Richtung verliehen wird. Mit dem freien Auftreten der ungleichartigen Bestandtheile an beiden Polen ist aber auf ähnliche Weise, wie nach obiger Darstellung, ein Austausch und eine Wiedervereinigung der zurückbleibenden Atome verbunden. Dies führt zu der von Grotthuß *) aufgestellten Theorie der elektrochemischen Erscheinungen, die in den Hauptpunkten mit der von H. Davy **) übereinkommt. Nach de la Rive ***) verbindet sich die Elektricität des positiven Poles mit dem Wasserstoff oder den Basen, wodurch der Sauerstoff oder die Säure frei wird, und führt erstere durch die Flüssigkeit dem negativen Pole zu, wo sie in das Metall eindringt, während die Elektricität des letztgenannten Poles in umgekehrter Weise wirkt. Die in der Richtung des Stromes liegenden Theilchen werden dabei nicht zersetzt, sondern dienen blos zur Leitung der zwischen beiden Polen strömenden Elektricitäten. — Indessen scheint überall kein Bedürfniß zur Annahme einer zweiten elektrischen Flüssigkeit vorhanden zu sein; die zu leistende Erklärung wird dadurch nur verwickelter, ohne an Evidenz zu gewinnen.

Nach Faraday ****) sind bei Erzeugung der elektrischen Erscheinungen zwei entgegengesetzte Kräfte thätig, die sich bei der statischen Elektricität eben so wenig als bei der dynamischen oder galvanischen von einander trennen lassen, so daß es nicht möglich ist, einen Körper mit der einen oder anderen allein zu laden. Wo die eine vorhanden, da ist auch die andere entgegengesetzte versteckt, und wenn es mitunter den Anschein hat, es sei ein Körper blos mit der einen behaftet, so ist es nur eben die durch Vertheilung an seiner Oberfläche hervorgebrachte Kraft, die hier zu Tage tritt. Diese Kräfte haben ihren Sitz in den Molecülen der Körper, und der elektrische Zustand besteht darin, daß die Molecüle oder kleinsten Massentheilchen an ihren entgegengesetzten Hälften entgegengesetzte Eigenschaften, d. h. Polarität erlangen. Die elektrische Vertheilung oder Induction hat eben ihren Grund in dieser Polarität, die, wenn sie in einem Theilchen hervorgetreten, auf das benachbarte sich überträgt; sie entspringt somit aus der Wirkung angren-

*) Ann. de Chim. (1804) T. LVII. p. 66. T. LXIII. p. 20.

**) Phil. Transact. 1807. p. 29. 1826. p. 383.

***) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXVIII. p. 190.

****) Dessen Untersuchungen im Gebiet der Elektricität sind fast alle enthalten in den Phil. Trans. und übersetzt in Pogg. Ann. Bd. XXV. XXIX. XXXI. XXXII. XXXIII. XXXV. XXXVI. XLVI. XLVII. XLVIII. LII. LIII. und Ergänzungsband I. Die ersten 14 Reihen sind auch in einer besonderen Schrift unter dem Titel: Experimental Researches in Electricity. London 1839 erschienen.

zender Theilchen und kann sich auch in krummen Linien verbreiten. Die polarisirten Massentheilchen befinden sich aber in einer erzwungenen Abweichung vom natürlichen Zustande, in den sie stets zurückzukehren streben. Mit diesem Zwangszustande ist nun unmittelbar das verbunden, was man elektrische Spannung nennt, die um so bedeutender, je weniger leicht der polare Zustand sich mittheilt. Die Elektricitätsleitung erscheint als Uebertragung des polaren Zustandes eines Massentheilchens auf ein anderes, wobei das erstere in seinen natürlichen Zustand zurückkehrt, und je nachdem dies leicht oder schwer von statten geht, ist der betreffende Körper ein guter oder schlechter Leiter. Leitung ist hiernach ein besonderer Act der Entladung zwischen benachbarten Theilchen, in dem eben bei dieser letzteren alle zuvor polarisirten Theilchen in den anfänglichen Zustand zurückkehren, und zwar in umgekehrter Ordnung, in welcher sie ihn verlassen haben. Je schwächer jener Spannungszustand, bei welchem die Entladung zwischen den Theilchen eines Körpers stattfindet, ein desto besserer Leiter ist dieser Körper. Nach dieser Ansicht, kann man sagen, sind Isolatoren diejenigen Körper, deren Theilchen den Polarisationszustand festhalten können, Leiter dagegen solche, welche nicht bleibend polarisirt werden können *).

Faraday **) betrachtet das Wort Strom als allgemeinen Ausdruck für einen gewissen Zustand und eine gewisse Beziehung von als wandernd vorausgesetzten elektrischen Kräften. Wenn ein Zink- und Sauerstofftheilchen neben einander liegen, so üben dieselben Vertheilungskräfte auf einander aus, die sich bis zum Verbindungspunkte steigern. War das Sauerstofftheilchen mit Wasserstoff verbunden, so muß das durch stärkere Kraft losgerissene Wasserstofftheilchen seine Kraft auf das nächste Sauerstofftheilchen äußern, und indem dies so fortgeht entsteht der elektrische Strom. Diese Wirkung der Theilchen kann in zwei Theile zerfällt werden, in die, welche stattfindet, während die Kraft in einem Sauerstofftheilchen gegen das Zinktheilchen gesteigert wird, gegen das verbundene Wasserstofftheilchen aber abnimmt, und in die, welche stattfindet, wenn die wirkliche Trennung und Vereinigung eintritt; die erstere erzeugt den Strom, oder bei offener Säule den Spannungszustand der Pole, die andere bedingt die Fortsetzung des Stromes, indem stets neue Theilchen in Conflict kommen.

Die elektrochemische Zersetzung insbesondere wird nach Faraday hervorgebracht durch eine in der Richtung des elektrischen Stromes ausgeübte innere Molecular-Action, und sie rührt her von einer Kraft, die entweder der gewöhnlichen chemischen Affinität der vorhandenen Körper hinzutritt oder dieser Richtung verleiht. Der sich zersetzende Körper kann betrachtet werden als eine Masse wirkender Theilchen, von denen alle die, welche in dem Laufe des elektrischen Stromes liegen, zu der Endwirkung beitragen; und dadurch, daß die gewöhnliche chemische Affinität durch den Einfluß des elektrischen Stromes, parallel seinem Laufe, in der einen Richtung verringert, geschwächt oder theilweise neutralisirt, und in der anderen verstärkt und unterstützt wird, geschieht es, daß die verbundenen Theilchen eine Neigung haben, entgegengesetzte Wege einzuschlagen. Nach dieser Ansicht hängt

---

*) Poggend. Ann. Bd. XLVI. S. 1. 537. Bd. XLVII. S. 33. Bd. XLVIII. S. 269.

**) Poggend. Ann. Bd. XLVIII. S. 515.

der Effect wesentlich ab von der entgegengesetzten chemischen Affinität der Theilchen entgegengesetzter Art, wobei aber nicht vorausgesetzt wird, daß die thätigen Theilchen in einer geraden Linie zwischen den Polen liegen, obschon in diesem Falle der Effect ein Maximum wird. Die Theorie erfordert die Annahme, daß die elementaren Theilchen eines der elektrochemischen Zersetzung fähigen zusammengesetzten Körpers einen Einfluß auf einander ausüben, der sich über diejenigen hinaus erstreckt, mit denen sie in unmittelbarer Berührung stehen. So muß für das Wasser angenommen werden, daß ein Wasserstofftheilchen, welches mit einem Sauerstofftheilchen verbunden ist, sich gegen andere Sauerstofftheilchen, wiewohl diese mit anderen Wasserstofftheilchen verbunden sind, nicht ganz indifferent verhalte, sondern eine Verwandschaft oder Anziehung gegen sie äußere, welche, obgleich unter den gewöhnlichen Umständen nicht so stark als die, durch welche es mit seinem eigenen Sauerstofftheilchen verbunden ist, dieselbe doch unter dem in einer bestimmten Richtung thätigen elektrischen Einfluß gar wohl übertreffen kann. Faraday betrachtet hiernach die Effecte als entsprungen aus inneren, der in Zersetzung begriffenen Substanz angehörigen Kräften, und nicht aus äußerlichen, wie sie betrachtet werden könnten, wenn sie unmittelbar von den Polen abhingen. Er nimmt an, daß die Wirkungen Folge seien einer durch den elektrischen Strom hervorgebrachten Abänderung der chemischen Verwandschaft der in oder neben der Bahn des Stromes liegenden Theilchen, durch welche diese das Vermögen erlangen, in einer Richtung stärker als in der anderen zu wirken, demgemäß durch eine Reihe folgeweiser Zersetzungen und Wiederzusammensetzungen in entgegengesetzten Richtungen fortgeführt, und endlich an den in der Richtung des Stromes liegenden Grenzen des in Zersetzung begriffenen Körpers ausgetrieben oder ausgeschlossen werden, und dieses in größerer oder geringerer Menge, je nachdem der Strom mehr oder weniger stark ist.

Jene entgegengesetzten Kräfte, von denen jedes Körpertheilchen beide zu gleichem Betrage enthält, befinden sich also für gewöhnlich im Zustande der Indifferenz und treten erst durch die bekannten Erregungsmittel der Elektricität nach entgegengesetzten Richtungen auseinander. Sind nun diese Kräfte etwas Selbstständiges (für sich existirendes), so fällt die Faraday'sche Theorie im Wesentlichen zusammen mit der dualistischen Ansicht, nach welcher bekanntlich zwei entgegengesetzte Elektricitäten existiren sollen, die man auch Kräfte nennen kann. Alle elektrischen Erscheinungen sind dann nur durch einen nach den Umständen näher bestimmten Vertheilungsproceß bedingt, in der Art des magnetischen, bei dem man annimmt, daß die entgegengesetzt magnetischen Fluida (oder Kräfte) nicht von einem Massentheilchen auf das benachbarte übergehen, sondern nur nach entgegengesetzten Richtungen aus einander treten können. Und es ist dann auch wieder erlaubt, statt zweier elektrischer Fluida nur Eines anzunehmen, falls sich ein zweites als überflüssig erweisen sollte. Es bieten sich nun, wenn man näher auf diesen Gegenstand eingeht, folgende unabweisliche Betrachtungen dar, die ihre Geltung behalten, mag man übrigens der atomistischen oder dynamischen Auffassungsweise huldigen. Man kann nämlich, wenn man will, die beiden elektrischen Fluida sich auch als entgegengesetzte Kräfte denken, und die elektrischen Elemente selbst der Veranschaulichung wegen als Kraftpunkte. Bei der Annahme Eines elektrischen Fluidums wären dann diese Kraftpunkte unter einander als qualitativ gleich zu betrachten, und die elektrische Polarität eines Körpertheilchens bestände darin, daß die eine

elektrische Kraft auf Grund einer äußeren Veranlassung an der einen Seite desselben in größerer Intensität als auf der anderen Seite auftritt, oder daß sich dort eine größere Anzahl von Kraftpunkten als hier ansammelt.

Will man jedoch (wozu Faraday geneigt ist) bei Erklärung der elektrischen Erscheinungen kein besonderes Fluidum oder eine demselben äquivalente und zwar eigenthümliche, selbstständige Kraft annehmen, so bleibt nichts übrig als die chemische Action und die mit ihr verbundene oder ihr vorausgehende Molecularveränderung, die alsdann Ursache, nicht Wirkung der Elektricität ist. Taucht beispielsweise ein Stück Zink in Wasser, so wird, wie bereits oben angeführt, vermöge der chemischen Anziehung zwischen den Zink- und Sauerstofftheilchen den Bestandtheilen des Wassers eine bestimmte Richtung ertheilt, womit das Auftreten dessen, was man elektrischen Strom nennt, oder zunächst die elektrische Differenz zwischen Wasser und Zink ohne Weiteres gegeben ist. Denkt man sich jetzt das Zink mit Kupfer zu einer einfachen galvanischen Kette verbunden, so steht die Erklärung der hierher gehörigen Erscheinungen offenbar still, sofern nicht die durch die chemische Action in der Flüssigkeit hervorgerufene Polarität sich auf sämmtliche Metalltheilchen übertragen kann. Sind nun aber die kleinsten Theilchen der Metalle in sich durchaus gleichartig, so können sie unmöglich an ihren entgegengesetzten Enden entgegengesetzte Eigenschaften, d. h. Polarität annehmen. Und ohne die letztere hat es sein Bewenden bei der chemischen Action zwischen Zink und Sauerstoff, es geschieht nichts, was nicht auch ohne die Berührung des Zinks mit dem anderen Metall geschehen könnte. Die Metalltheilchen müssen jene Polarität, auf der nach Faraday der elektrische Zustand beruht, annehmen können, wenn die Berührung der Metalle den entsprechenden Erfolg haben soll.

Will man nun die Massentheilchen der Metalle nicht wieder mit entgegengesetzten Kräften begaben und dadurch in die andere Ansicht zurückfallen, so muß man sich ein jedes Massentheilchen selbst aus zwei entgegengesetzten Elementen oder, wenn man will, Kraftpunkten zusammengesetzt denken. Eine solche Zusammengesetztheit ist möglich, ja wahrscheinlich, obwohl, wenn man ein Fluidum annimmt, zur Erklärung der blos elektrischen Erscheinungen nicht nothwendig. Mit dieser Zusammengesetztheit ist die Möglichkeit der Polarität der kleinsten Massentheilchen oder Molecüle irgend eines Metalls gegeben; soll aber das polare Verhältniß wirklich hervortreten, so ist noch ein besonderes Arrangement der Molecüle erforderlich, dergestalt, daß die ungleichartigen Elemente derselben einander zu-, die gleichartigen von einander abgewendet sind. Diese Elemente befinden sich unter gewöhnlichen Umständen im Zustande der Indifferenz oder Neutralisation; sobald ihnen aber durch einen äußeren vertheilenden Einfluß, der das eine Element anzieht und das andere zurückstößt, Richtung verliehen wird, erhalten sie zugleich die Tendenz, nach entgegengesetzten Seiten aus einander zu treten, und in dem Maße, in welchem dies geschieht, entwickelt sich in ihnen Polarität mit freier Wirkung nach Außen. Ist diese Polarität in einem Massentheilchen hervorgetreten, so überträgt sich dieselbe, der obigen Faraday'schen Ansicht gemäß, auf das nächste, durch Anziehung des einen und durch Zurückstoßung des anderen Elements. Die Elemente der Massentheilchen so aus ihrer natürlichen Gleichgewichtslage entfernt, befinden sich allerdings in einem Zwangszustande; sie streben fortwährend in jene Lage zurück und nehmen dieselbe wieder ein, sobald der äußere Einfluß verschwindet.

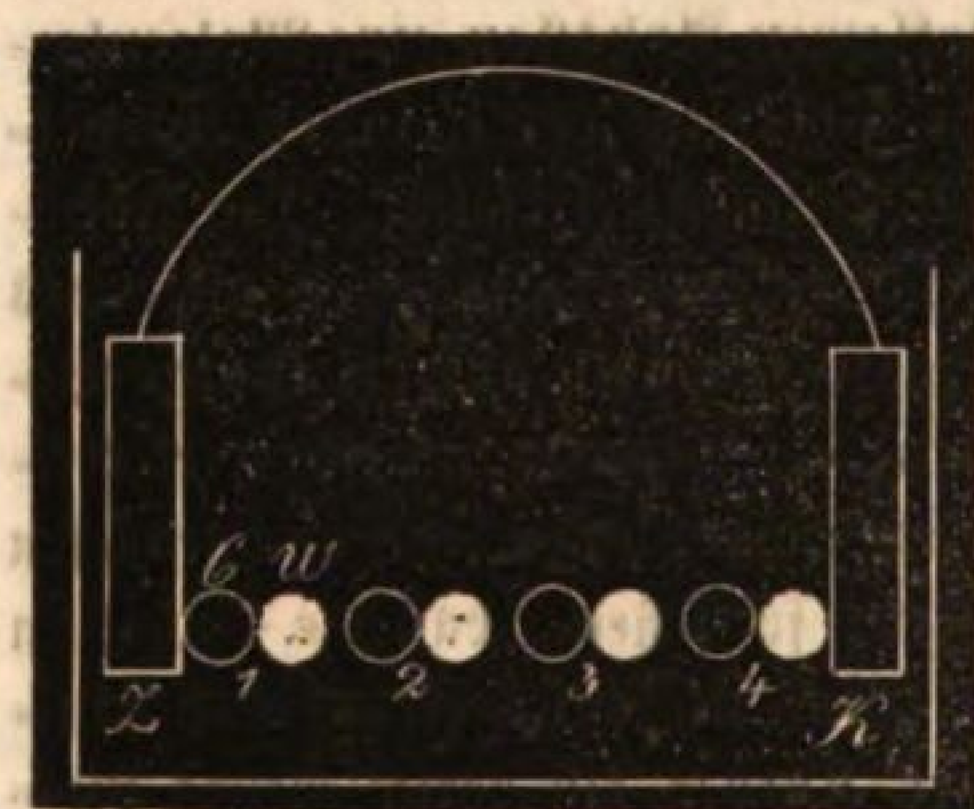
Je nachdem nun die Elemente der Massentheilchen eines Körpers sich mehr oder weniger leicht aus ihrer Gleichgewichtslage in der angegebenen Weise entfernen lassen, gehört der Körper zu den guten oder schlechten Leitern der Elektricität. Die Polarität der Massentheilchen wird aber um so vollständiger hervortreten, je größer die Abweichung ihrer Elemente von der natürlichen Gleichgewichtslage ist, je mehr sie also in diejenige Position gerathen, in welcher die ungleichartigen Elemente einander gerade zugekehrt, die gleichartigen aber eben so sehr von einander abgewendet sind.

Man kann nun auch weiter, wie das von mehreren Physikern, so namentlich von Ettingshausen und Baumgartner*) geschieht, annehmen, daß mit der bei der Berührung ungleichartiger Metalle wirksamen Adhäsion eine Molecularveränderung eintrete, und wenn hiermit schon jene Polarität der kleinsten Körpertheilchen sich entwickelt, so giebt das die sogenannte Contactelektricität. Die Adhäsion läßt sich aber mit Recht als ein Anfang chemischer Einwirkung oder diese als eine verstärkte Adhäsion betrachten. Dabei stützt man sich noch auf die innige Beziehung, welche Prechtl**) zwischen der Adhärenz der Metalle und ihrer elektrischen Differenz oder ihrer relativen Stellung in der Spannungsreihe nachgewiesen hat. Allein hieraus läßt sich noch nicht mit Evidenz schließen, daß die Adhäsion das Ursächliche der Contactelektricität sei; denn die Elemente eines elektrischen Fluidums müssen zu den Massentheilchen ungleichartiger Körper ein verschiedenes Verhalten zeigen, das durch den materiellen Gegensatz derselben bedingt ist, und da hiervon auch die Adhäsion abhängt, so leuchtet der von Prechtl constatirte Zusammenhang von selbst ein. Schönbein's***) Hypothese der chemischen Tendenzen wird von der Ansicht, nach welcher die elektrische und Molecular-Action eines und dasselbe sind, nicht wesentlich verschieden erachtet.

Mit Rücksicht auf die obigen Betrachtungen läßt sich nun einigermaßen einsehen, wie die durch die chemische Action in der Flüssigkeit veranlaßte Polarität sich auf die Metalltheilchen überträgt. Die Zersetzung, welche das Zink durch seine Anziehung gegen den einen Bestandtheil der Flüssigkeit bewirkt, ist die Quelle der Elektricität in der Kette und der elektrische Strom die Fortsetzung dieser Zersetzung nach einer bestimmten Richtung. Denkt man sich z. B. eine Zinkplatte in Salzsäure, so wird durch die erwähnte Anziehung den Atomen der Salzsäuretheilchen eine bestimmte Richtung und dadurch Polarität verliehen, womit nach Faraday schon das Entstehen eines schwachen Stromes von kurzer Dauer verbunden ist. Aber auch die Zinktheilchen werden polarisch, und zwar jedes an der der Salzsäure zugekehrten Seite positiv, an der anderen negativ, wenn man das Chlorelement negativ und das Wasserstoffelement positiv polar nennt. Stellt man sich nun vor, jedes kleinste Massentheilchen des Metalls bestehe selbst aus zwei ungleichartigen Elementen, so kann die Polarität dieser Theilchen von Seiten der Flüssigkeit dadurch erregt werden, daß das Chlor das eine Element anzieht und das andere zurücktreibt. Dies geschieht natürlich zunächst da, wo das Metall mit der Flüssigkeit in Berührung steht; die hier bewirkte Polarität verbreitet sich aber in der obigen Weise von einem Metalltheilchen auf das andere. Das angezogene Element

*) Naturlehre. 1842. S. 503.
**) Poggend. Ann. Bd. XV. S. 223.
***) Poggend. Ann. Bd. XLIII. S. 89 u. 229.

des Metalls wäre dann als positiv, das abgestoßene als negativ zu betrachten. Ist nun die Anziehung zwischen dem positiven Zink- und dem negativen Chloratom mächtig genug, so entsteht Chlorzink, welches sich in der Flüssigkeit auflöst, während der positive Wasserstoff als Gas an der Oberfläche der Zinkplatte entweicht. Stellt man aber dem Zink eine Kupferplatte gegenüber und verbindet beide durch einen Metalldraht, so pflanzt sich jene Polarität der Zinktheilchen durch den Draht bis zu den letzten Atomen der Kupferplatte fort, so daß diese in Bezug auf das positive Zinkende negativ polar werden. Hierdurch wird die Polarität der zwischen ihnen befindlichen Salzsäure, welche in allen Theilchen gleich groß ist, verstärkt, und in demselben Moment, wo sich das Chlor des Theilchens 1 mit einem Zinktheilchen (als solchem) verbindet, vereiniget sich der Wasserstoff desselben Theilchens mit dem Chlor von 2, das Wasserstoffatom von 2 aber mit dem Chlor von 3 und so fort bis zur Kupferplatte, an der das Wasserstoffatom des Theilchens 4 frei wird.



Diese Theorie, die also kein elektrisches Fluidum anerkennt, vermag wohl die elektrisch polaren Verhältnisse im Allgemeinen zu erklären, aber sie ist nicht im Stande, die individuellen Besonderheiten, wodurch sich die elektrischen Erscheinungen von den magnetischen unterscheiden, auf einen klar erkannten Grund zurückzuführen. Sie läßt sich, gehörig entwickelt, den magnetischen Erscheinungen vollständig anpassen, denn ein Magnet ist thatsächlich ein Inbegriff polar erregter Theilchen, so daß man dabei an ein Fluidum, das von einen Körper auf den anderen, oder auch nur von einem Massentheilchen zum nächsten übergeht, nicht zu denken braucht. Ein isolirter Leiter, der durch Vertheilung elektrisch geworden, zeigt an seinen beiden Enden allerdings einen gewissen Gegensatz, den man wohl durch eine Polarität der kleinsten Massentheilchen in obiger Manier erklären kann; bringt man aber denselben auf einen Augenblick mit der Erde in leitende Gemeinschaft, so verräth er auf seiner ganzen Oberfläche, nach Wegfall des vertheilenden Einflusses, eine gleichartige elektrische Beschaffenheit. Ein Eisenstab, der vertheilenden Einwirkung eines Magnetpoles ausgesetzt, zeigt ähnlich wie ein durch Vertheilung elektrisirter Leiter, an seinen beiden Hälften einen polaren Gegensatz, der jedoch dadurch, daß man den Stab durch einen Eisendraht mit der Erde verbindet, nicht aufgehoben oder verdeckt werden kann. Vielmehr setzt sich in diesem Draht die magnetische Polarität fort, ohne die des Eisenstabes zu verändern, ganz so wie man es nach der obigen Theorie zu erwarten hat. Die letztere weiß keinen Grund anzugeben für den thatsächlich gegebenen Unterschied der magnetischen und elektrischen Vertheilung. Und eben so unaufgeklärt läßt sie das Ausgleichungsphänomen entgegengesetzt elektrischer Zustände, das bei den magnetischen Erscheinungen nicht in ähnlicher Weise zu Tage tritt. Wenn nun Faraday sagt: die Elektricität lasse sich betrachten als die Axe einer Kraft, die nach entgegengesetzten Richtungen gleich starke, aber entgegengesetzte Wirkungen ausübt *), oder es seien zwei entgegengesetzte

*) Poggend. Ann. Bd. XXXII. S. 431.

Kräfte *), die den Massentheilchen der Körper adhäriren, und durch die bekannten Erregungsmittel der Elektricität in Wirksamkeit versetzt werden; so fällt diese Auffassungsweise zusammen mit dem bekannten Erklärungsprincip der magnetischen Erscheinungen, nach dem gleichfalls zwei entgegengesetzte Kräfte oder Fluida existiren, die nach entgegengesetzten Richtungen, ohne jedoch die Massentheilchen zu verlassen, wirksam werden. Und so ist es denn kein Wunder, wenn die Faraday'sche Theorie, consequent verfolgt, eben nur zur Erklärung der magnetischen, nicht aber der elektrischen Erscheinungen führt, die vielmehr auf ein besonderes Fluidum hindeuten. Das letztere aber erzeugt in den Körpern, die es durchdringt, Molecularveränderungen, und durch diese als transversale Wirkung auch magnetische Erscheinungen, worüber der Artikel Elektromagnetismus (Bd. II. S. 816) zu vergleichen ist.

Die Erscheinungen der hydroelektrischen Kette insbesondere haben zu zwei verschiedenen Theorien derselben Veranlassung gegeben. Die eine ist die sogenannte Contact-, die andere die chemische Theorie. Nach der ersten ist der elektrische Strom bedingt durch die elektrische Erregung, welche bei der gegenseitigen Berührung von Metallen und dieser mit Flüssigkeiten stattfindet, nach der zweiten dagegen durch eine chemische Action, welche, nachdem sie den Strom hervorgerufen, durch diesen auch wieder befördert werden kann. So ist es nach der älteren Oxydationstheorie eben nur die Oxydation des positiven Metalls (Zinks), welche dem elektrischen Vertheilungszustande der Hydrokette zu Grunde liegt. Die chemische Theorie betrachtet also den elektrischen Strom als eine Folge des gestörten chemischen Gleichgewichts, während die Contacttheorie umgekehrt annimmt, daß die Elektricitätsentwickelung, welche durch die bloße Berührung der ungleichartigen Kettenglieder veranlaßt wird, dem chemischen Proceß vorausgehe. Nun kann die elektrische Erregung bei der bloßen Berührung ungleichartiger Körper nicht geläugnet werden, da sie selbst unter Umständen wahrnehmbar ist, wo sich an einen eigentlichen chemischen Proceß (ohne den größten Zwang) nicht denken läßt. So erhielt Becquerel **) unter völliger Abhaltung aller Luft und Feuchtigkeit, und Pfaff sowohl in einer Umgebung von trockner und feuchter Luft als auch in den verschiedensten Gasarten ganz unzweideutige Resultate. Faraday leugnet auch nicht, daß, wo zwei ungleiche Körper einander berühren, die ungleichartigen Theile auf einander wirken und entgegengesetzte Zustände erregen, glaubt vielmehr, daß eine solche Wirkung in vielen Fällen zwischen aneinander liegenden Theilchen stattfinden könne, z. B. vorbereitend die Action in den gewöhnlichen chemischen Erscheinungen und auch vorbereitend denjenigen Act der chemischen Combination, welcher in der Volta'schen Kette den Strom hervorruft.

Die wichtigsten Erscheinungen der Volta'schen Kette haben bereits oben, unter Annahme eines elektrischen Fluidums, eine Erklärung gefunden, welche die Contacttheorie gewissermaßen in sich schließt. Der Streit zwischen dieser und der chemischen Theorie ist aber nur in sofern bedeutsam, als die letztere die Unmöglichkeit einer wirksamen Volta'schen Kette ohne eine der Schließung derselben vorausgehende (primäre) chemische Action behauptet. Faraday ***) hat zur

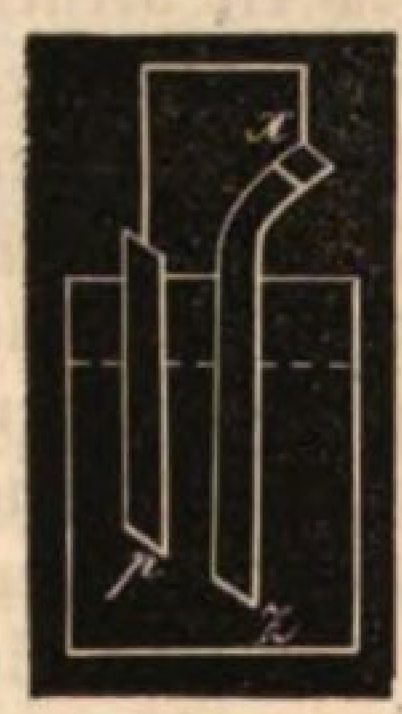
---

*) Poggend. Ann. Bd. XLVI. S. 2.
**) Ann de chim. et de Phys. T. XLVI. p. 211.
***) Poggend. Ann. Bd. XXXII. u. XXXIII.

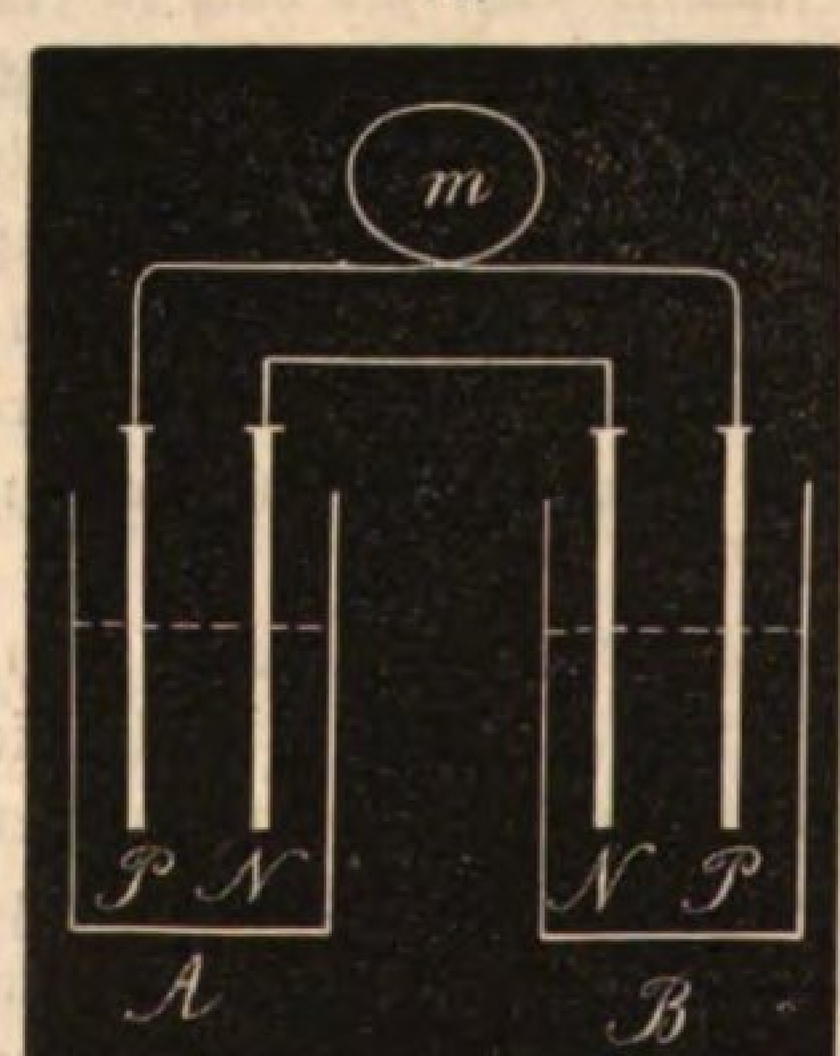
Unterstützung dieser Behauptung eine Menge von Versuchen angestellt, die sich jedoch durch die Contacttheorie meist sehr einfach erklären lassen, wenn man nicht allein das elektromotorische Verhältniß zwischen Metallen, sondern auch das der letzteren mit Flüssigkeiten gehörig beachtet, was von Faraday nicht in genügendem Maße geschehen ist. Der hydroelektrische Strom erscheint freilich stets von einem chemischen Proceß begleitet, der eine Wirkung desselben ist, womit aber nicht geläugnet ist, daß die Verbindungsfähigkeit zwischen dem positiven Metall und dem einen Bestandtheile der Flüssigkeit einen fördernden Einfluß üben könne. Auch wird der chemische Proceß, soweit er durch den elektrischen Strom bewirkt ist, mit diesem aufhören müssen. Das Verschwinden des letzteren ist aber auf schon erörterte Weise bedingt durch secundäre elektromotorische Verhältnisse, welche durch die Elektrolyse hervorgerufen werden. Betrachten wir nun noch die wichtigsten der von Faraday der Contacttheorie entgegengestellten Versuche.

In ein Glas, das verdünnte Salpetersäure mit etwas Schwefelsäure enthält, wird eine etwa 8 Zoll lange, 0,5 Zoll breite, wohl gereinigte Zinkplatte z und eine eben so breite, etwa 3 Zoll lange Platinplatte p gestellt. Legt man nun bei x auf die oben umgebogene Zinkplatte ein mit Jodkalium befeuchtetes Fließpapier, mit dem man den an p gelötheten Platindraht in Berührung bringt, so wird an diesem Jod frei, während das Alkali am Zink erscheint, wie ein mit Curcumä gefärbtes Papierstück, das man unter das Fließpapier legt, sogleich zu erkennen giebt. Hier ist also ohne Metallcontact ein elektrischer Strom vorhanden, der nach Faraday *) durch chemische Action hervorgerufen wird, indem hier zwei chemische Verwandschaften, die des Sauerstoffs und die des Jodes zum Zink, einen solchen erregen, von denen jedoch die erstere, als die stärkere, mehr Elektricität erzeugt, so daß dann schließlich ein Strom im Sinne der Verwandschaft des Sauerstoffs entsteht. Allein schon Pfaff **) führte diesen Fall auf das elektromotorische Verhältniß zwischen Metallen und Flüssigkeiten zurück, wonach hier der negative elektrische Strom vom Zink durch die Jodkaliumlösung zum Platin geht und diese Lösung in bekannter Weise dergestalt zerlegt, daß das Alkali am Zink erscheint.

I.



II.

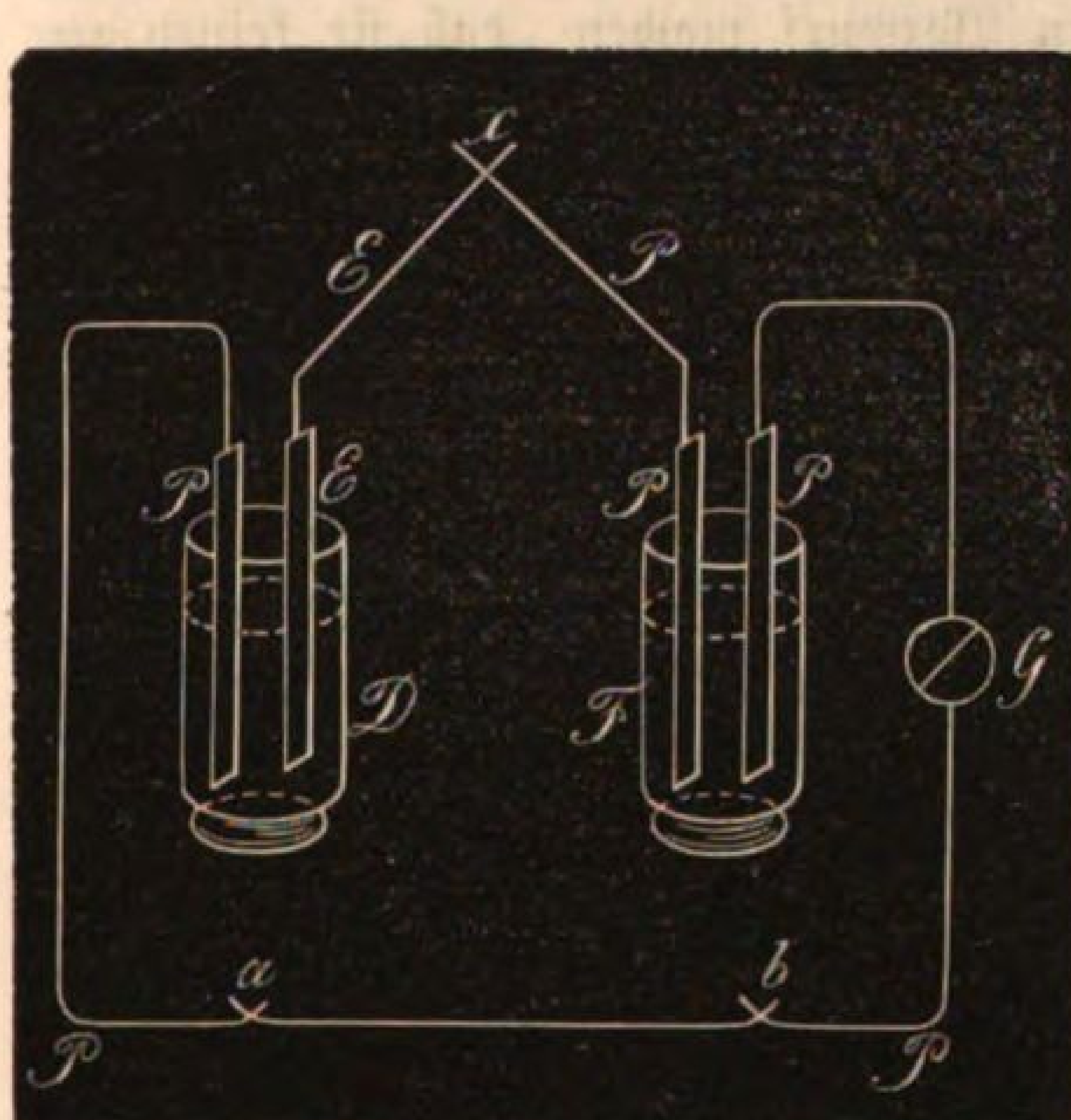


Poggendorff ***) untersuchte eine größere Anzahl von Ketten, die aus zwei Flüssigkeiten und zwei sich nicht berührenden Metallen bestehen. In zwei kleine Glashafen A und B goß er zwei Flüssigkeiten bis zu einer gewissen Höhe, stellte in jede derselben ein heterogenes Plattenpar P, N und verband die gleichartigen Platten durch Kupferdrähte, von denen der eine mit einem Multiplicator in Verbindung stand. In solchen Ketten giebt es

*) Poggend. Ann. Bd. XXXV. S. 3.
**) Revision der Lehre vom Galvano-Voltaismus. S. 81.
***) Poggend. Ann. Bd. XLIX. S. 31.

möglicherweise vier Erregungsorte, zwei in jedem Gefäße, und faßt man die in demselben Gefäße entwickelten elektromotorischen Kräfte zusammen, so hat man deren zwei, die einander entgegenwirken. Ihre Differenz, dividirt durch den Gesammtwiderstand der Kette, giebt nach der Ohm'schen Formel (s. d. Art. Strom, elektrischer) die Intensität des auftretenden Stromes. Nach Faraday müßte nun die elektromotorische Kraft um so größer sein, als die Verwandschaft des Zinks zum Sauerstoff, Chlor oder überhaupt zu dem elektronegativen Bestandtheil der Flüssigkeit stärker ist. Dies fand sich jedoch nicht. „Sie ist in Fällen schwach, wo man diese Verwandschaft für stark zu halten hat, und zeigt sich dagegen stark, wo man nur eine schwache Verwandschaft annehmen muß. Häufig sogar entsteht ein Strom, und bisweilen ein recht kräftiger, wo, nach dieser Verwandschaft zu urtheilen, durchaus keine Wirkung zu erwarten wäre."

Ein anderer Versuch Faraday's, auf den dieser ein besonderes Gewicht legt, ist folgender *). In zwei Glasgefäßen, die mit einer concentrirten Auflösung von Schwefelkalium gefüllt sind, stehen die Platinplatten P, P, P und eine Eisenplatte E die durch Platin- und Eisendrähte auf die in der Figur angegebene Weise mit einander verbunden sind, während bei G zugleich ein empfindliches Galvanometer eingeschaltet ist. Da diese Metalle von der Schwefelkaliumauflösung nicht angegriffen werden, so kann hier nach der chemischen Theorie kein Strom entstehen, wohl aber, wie Faraday meint, nach der Contacttheorie; denn wir haben hier zwischen Platin und Eisen drei metallische Berührungen, und zwar bei a, b und x, von denen die beiden ersteren als einander entgegengesetzt sich aufheben, während der Wirkung der dritten (bei x) nichts entgegensteht. Dennoch ist kein Strom vorhanden, obwohl die Kette für einen schwachen thermoelektrischen Strom, den eine Temperaturdifferenz an einer der Verbindungsstellen a, b oder x hervorbringt, durchdringlich ist. Wenn man aber bei x die Metalle öffnet und ein mit verdünnter Säure oder Salzlösung benetztes Papier, oder die Zunge oder einen feuchten Finger einschiebt, so wird ein Strom erzeugt, weit stärker als der, den die Thermowirkung hervorbringen kann, und zwar vom Eisen durch die eingeschaltete Säure oder sonstige Flüssigkeit zum Platin. Dieser Strom ist nun nach Faraday die Folge der bei x stattfindenden chemischen Action. Die Contacttheorie erklärt aber die Erscheinung sehr einfach durch das elektromotorische Verhalten der beiden Metalle zu der Schwefelkaliumlösung. Platin wird nämlich durch diese Flüssigkeit stark negativ erregt, während sie selbst positiv elektrisch wird, und so geht der sogen. positive Strom in der Richtung vom Platin durch die



*) Poggend. Ann. Bd. LII. S. 163.

Flüssigkeit zum Eisen. Der durch den Metallcontact erregte Strom geht umgekehrt in der Richtung vom Platin durch den Metalldraht nach der Eisenplatte, und in derselben Richtung wie dieser bewegt sich der durch die Berührung der Flüssigkeit mit dem Eisen bedingte Strom. Das Eisen wird nämlich ebenfalls, nur viel schwächer wie Platin, von jener Lösung negativ erregt, so daß ein positiver Strom vom Eisen (im Gefäße D) durch die Flüssigkeit zum Platin und von da durch den größeren Metallbogen ꝛc. geht. Diese beiden letzteren Ströme zusammengenommen sind nun gleich, aber der Richtung nach entgegengesetzt dem zuerst erwähnten Strome. Daher Ruhe in der Kette. Wird aber die letztere bei x geöffnet und eine Flüssigkeit eingeschaltet, so fällt der vom Metallcontact herrührende Strom fort, und der durch die Berührung des Platins mit der Schwefelkaliumauflösung veranlaßte Strom erhält das Uebergewicht. — Martens *) ist der Ansicht, daß das Eisen in Berührung mit Schwefelkalium passiv werde und dadurch in einen dem Platin gleichen Zustand gerathe, weshalb denn auch bei der eben betrachteten Kette kein Strom entstehen könne.

Man kann der chemischen Theorie den Vorwurf machen, daß sie keinen genügenden Aufschluß giebt über die Bedeutung, welche die Ungleichartigkeit verschiedener Metalle bei solchen Ketten zeigt, in denen diese von den betreffenden Flüssigkeiten nicht direct angegriffen werden. Poggendorff **) füllte einen porösen Thoncylinder mit Salpetersäure vom specif. Gewicht 1,33 und stellt ihn in eine Kalilauge, die aus 1 Gewichtth. Kali und 4 Gewichtth. Wasser bereitet war. In beide Flüssigkeiten tauchten Platinplatten, die mit einer Sinusboussole in Verbindung gesetzt wurden, um die Stromstärke dieser Kette zu ermitteln. Hierauf wurde die Platinplatte in der Kalilauge durch eine Eisenplatte ersetzt, die von dieser Flüssigkeit so wenig wie das Platin eine eigentliche chemische Einwirkung erlitt. Die Stromstärke war aber bedeutend größer als im ersten Falle.

Der elektrische Strom dieser Ketten läßt sich von der chemischen Wirkung beider Flüssigkeiten auf einander nicht herleiten. Die Schwefelsäure hat eine stärkere Verwandschaft zum Kali als die Salpetersäure, dessenungeachtet gab diese statt jener angewandt eine geringere Stromstärke. Poulsen ***) änderte den Versuch in der Weise ab, daß beide Flüssigkeiten, die Aetzkalilauge und Salpetersäure, durch eine Auflösung von Salpeter in einer unmittelbaren Wirkung auf einander gehindert waren. Ein poröser Thoncylinder wurde nämlich mit Salpetersäure gefüllt und in einen größeren Thoncylinder mit Salpeterauflösung eingesenkt, welcher seinerseits in Aetzkalilösung eingetaucht war. Auch dann noch zeigte sich eine Stromstärke von beträchtlicher Größe.

Wäre die chemische Action, welche der Schließung der Kette vorausgeht, die nächste Ursache des elektrischen Stromes, so müßte zwischen beiden eine gewisse Proportionalität stattfinden, was aber im Allgemeinen durchaus nicht der Fall ist. Frisch amalgamirtes Zink wird von einer neutralen Zinkvitriollösung, die durch Auskochen von Luft befreit ist, nicht angegriffen, giebt aber gleichwohl einen kräftigen elektrischen Strom, wenn man es mit Platin oder sonst einem negativen Metall in

*) Bullet. de l'Acad. Roy. de Bruxelles. T. VII. p. 308; Poggend. Ann. Bd. LV. S. 444.

**) Poggend. Ann. Bd. LIV. S. 353.

***) Die Contacttheorie ꝛc. Heidelberg 1845.

Verbindung bringt. In der Grove'schen Kette steht Platin in Berührung mit concentrirter Salpetersäure und Zink mit verdünnter Schwefelsäure. Ersetzt man nun die letztere durch eine concentrirte Auflösung von Zinkvitriol, so bleibt der Strom mindestens eben so stark, obschon das Zink von dieser Auflösung keine primäre chemische Einwirkung erleidet. Pfaff*) sah hierin ein experimentum crucis für die Contacttheorie. So giebt es noch viele Combinationen, wie z. B. von Platin und Kupfer in einer Kupfervitriolauflösung, Platin und Eisen in Eisenvitriolauflösung &c., die mehr oder weniger starke Ströme ohne primäre chemische Action geben.

Faraday**) stellte noch eine Reihe von Versuchen an, in denen er durch Erwärmung der betreffendeen Flüssigkeit die chemische Kraft abzuändern suchte, ohne sonst in dem Contact der Metalle eine Störung herbeizuführen. Die Flüssigkeit befand sich in einer doppelschenkeligen Glasröhre, in deren Schenkel bald ganz homogene, bald ungleichartige Metalldrähte eingesenkt wurden. Durch Erwärmung des einen Schenkels suchte nun Faraday die hier stattfindende chemische Action zu verändern. Allein die von ihm beobachteten Erscheinungen erklären sich sämmtlich durch das in Folge der Temperaturerhöhung abgeänderte Contactverhältniß zwischen Metall und Flüssigkeit, wobei jedoch noch zu berücksichtigen ist, daß durch Erhöhung der Temperatur auch das Leitungsvermögen der Flüssigkeit und der Uebergangswiderstand zwischen Metall und Flüssigkeit eine Veränderung erfährt. Und auf dieselbe Weise erklärt man die Erscheinungen, die Faraday***) von der Einwirkung einer Verdünnung der Flüssigkeit auf die erregende chemische Kraft herleitet. Hier geschieht nichts, was nicht nach dem bekannten elektromotorischen Verhalten der Flüssigkeiten zu den Metallen erwartet werden könnte.

Nicht selten hat man zu Gunsten der chemischen Theorie das von Faraday aufgefundene elektrolytische Gesetz angeführt, nach welchem zur Zersetzung äquivalenter Stoffmengen gleiche Elektricitätsmengen erforderlich sind. Dagegen hat aber Poggendorff****) treffend bemerkt, daß hier ein Irrthum hinsichtlich der Beweisfähigkeit dieses Gesetzes obwalte, der daraus entsprungen, daß man voraussetzte, was erst durch dasselbe erwiesen werden sollte, daß nämlich die Elektricitätserregung durch die Auflösung des Zinks geschehe, während doch in Wirklichkeit diese Auflösung die Wirkung, das Erzeugniß des elektrischen Stromes sei. Dann ist auch dieses Gesetz als eine allgemeine Eigenschaft der elektrischen Ströme zu betrachten, so daß es selbst solchen zukommt, die einen anderen Ursprung als die Volta'schen haben. So hat dasselbe, wie Poggendorff*****) gezeigt, für die magnetoelektrischen Ströme seine volle Geltung, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß es auch bei allen anderen Strömen so ist, falls dieselben nur die zur Elektrolyse nöthige Intensität besitzen †).

---

*) Poggend. Ann. Bd. LIII. S. 303.

**) Poggend. Ann. Bd. LIII. S. 316.

***) Poggend. Ann. Bd LIII. S. 479.

****) Pogend. Ann. Bd. XLIX. S. 31 ff.

*****) Poggend. Ann. Bd. XLIV. S. 642.

†) Bezüglich des Streites über die Contact- und chemische Theorie können namentlich folgende, zum Theil schon mehrfach citirte Schriften verglichen werden. Für die Contact-

Setzt man die Ursache der elektrischen Erscheinungen in eine Polarität der kleinsten Massentheilchen, die auch schon bei der bloßen Berührung ungleichartiger Körper hervortreten könne, so wird sich dieselbe zu der durch die chemische Action in der Kette veranlaßten Polarität hinzugesellen und diese je nach den Umständen bald fördern, bald hemmen. In diesem Sinne sind beide Theorien, die chemische und Contacttheorie, nicht wesentlich von einander unterschieden. Die Hauptfrage ist dann nur die, ob diese Polaritätslehre sich aufrecht erhalten lasse, was wir auf Grund schon angestellter Betrachtungen einstweilen verneinen müssen. Die Thatsachen des Galvanismus erklären sich hingegen ohne sonderliche Schwierigkeiten, und wie es scheint, mit viel größerer Evidenz, wenn man das, worauf die Mehrzahl der elektrischen Erscheinungen doch unverkennbar hindeutet, nämlich ein selbstständiges Fluidum ausdrücklich anerkennt.

Galvanometer, s. Multiplicator.

Galvanoplastik. — Die Erfindung der Galvanoplastik oder der Kunst, durch galvanische Elektricität Metalle aus geeigneten Lösungen in bestimmter Form niederzuschlagen, datirt gewissermaßen von Wach *), welcher im Jahre 1830 mit Hülfe eines einfachen galvanischen Apparates metallisches Kupfer aus einer gesättigten Kupfervitriollösung niederschlug. Doch bemerkte schon Kastner **) im Jahre 1821, daß eine Silbermünze in einer Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd sich überall mit Kupfer überziehe, wenn man sie in dieser Lösung kurze Zeit mit einem Zinkstabe berühre. Daniell ***) beobachtete in seinem ersten Versuche bei Construction der constanten Batterie, als er ein Stück reducirtes Kupfer von der Platin-Electrode abhob, daß Ritze auf der letzteren mit vollendeter Genauigkeit auf dem Kupfer sich copirt hatten. Derselbe nahm jedoch von dieser Thatsache, da seine ganze Aufmerksamkeit auf die Construction der Batterie selbst gerichtet war, nur oberflächlich Notiz. Im Jahre 1837 erwähnte De la Rive ****) beiläufig der Ablagerungen des Kupfers auf Kupfer, mit Nachbildung der feinsten

---

theorie: Pfaff: Revision der Lehre vom Galvano-Voltaismus, Altona 1837; Parallele der chem. Theorie und der volt. Contactth. der galvanischen Kette 1846; ferner in Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 461, LI. 111, LIII. 303. Karsten: Ueber Contactelektricität, Berlin 1836. Fechner: Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 225, XLII. 481, XLIII. 433, XLIV. 37. Lenz: Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 584. XLVIII. 1 u. 225. Jacobi: ebenda Bd. XLIV. S. 633. Poggendorff: ebenda Bd. XLIV. S. 642, XLIX. 31, LIII. 436, LVI. 150. Martens: ebenda Bd. LV. S. 444; Mém. de l'Acad. de Brux. T. XII. Bullet. de l'Acad. Roy. de Brux. T. VII. p. 305. L'Institut. 10me Ann. N. 421. p. 25. Marianini: Memorie della societa Italiana in Modena. T. XXI. p. 217; Ann. de Chim. et Phys. T. XLVI. p. 113. Henrici: Ueber die Elektricität der galvanischen Kette. 1840. Pogg. Ann. Bd. LV. S. 253 u. 455. Poulsen: die Contacttheorie vertheidigt gegen Faraday's Abhandlung „über die Quelle der Kraft in der Volta'schen Säule," Heidelberg 1845. — Für die chemische Theorie: Die bereits mehrfach angeführten Abhandlungen von Faraday, besonders: in Pogg. Ann. Bd. LII., LIII. n. LIV. De la Rive: Pogg. Ann. Bd. XV. S. 99, XXXVII. 225, XL. 355 u. 515, XLVI. 489. Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVIII. p. 506, XXXIX. 297, LXII. 147. Recherches sur la cause de l'Electricité volt. Genève. Schönbein: Pogg. Ann. Bd. XLIV. S. 59. J. Houmwink: Dissertatio physica de theoria elementi apparatus voltaici et Groningae 1835.

*) Schweigg. Journ. Bd. LIVII. S. 22.

**) Lehrbuch der Experimentalphysik. Heidelberg 1821.

***) Smee, Elektrometallurgie, deutsch. Leipzig 1851 bei Abel. Einleit.

****) Lond. and Edinb. Phil. Magaz. T. XI. p. 274.

Figuren, was man jedoch nicht sonderlich berücksichtigte. Jacobi *), der zuerst die treusten und schönsten Capien von Medaillen darstellte, betrachtet man als den eigentlichen Entdecker der Galvanoplastik. Derselbe zeigte im October 1838 zuerst an, man könne die Reduction des Kupfers auf galvanischem Wege zu Kunstzwecken benutzen und nannte diesen Proceß den galvanoplastischen. Unmittelbar nachdem diese Entdeckung in England bekannt geworden war, kündigte Spencer **) an, daß er einige Medaillen in Kupfer copirt habe und nannte sie Elektrotypen oder Voltatypen. Der nächste Fortschritt ward von Murray ***) gemacht. Er fand 1840, daß auch auf nicht leitende Substanzen metallisches Kupfer niedergeschlagen werden könne, wenn man sie vorher mit Graphit überzieht. Im März 1840 faßte Herr Mason den Gedanken, die Reduction auf eine andere als in der bisher gewohnten Weise zu bewirken. Er benutzte einen galvanischen Apparat mit einer Zelle als Daniell'sche Batterie, welche er mit einer anderen Zelle verband, um darin das betreffende Metall zu reduciren. In diese zweite Zelle brachte er eine positive Elektrode von Kupfer, das während der Operation aufgelöst ward. In dem London Journal für April 1840 befindet sich die erste Probe eines darin abgedruckten Elektrotyps von Newton. Es ist eine kleine rohe Skize, die als der Erstling dieser Productionen ein gewisses Interesse hat. Was die Anwendung der galvanischen Elektricität zum Vergolden und Versilbern anderer Metalle anlangt, so ist sie viel älter als man glaubt. Gewöhnlich werden de la Rive und Ruolz als Erfinder derselben angegeben. Bezüglich des Vergoldens war ihnen aber Brugnatelli lange vorausgegangen. Im Jahre 1803 ****) schreibt Brugnatelli in einem Briefe an van Mons: „Ich habe neulich zwei große silberne Medaillen in einer sehr vollkommenen Weise vergoldet, indem ich sie vermittelst eines Stahldrahtes, mit dem negativen Pole einer Volta'schen Säule in Verbindung brachte und sie eine nach der anderen in goldsaures Ammoniak, was frisch dargestellt und wohl gesättigt war, eintauchte." Dieser Proceß weicht in keinem Stücke von den jetzt angewandten ab, und man könnte denselben als den Anfang der Galvanoplastik betrachten, da er das erste Beispiel ist, wo ein Metall durch Galvanismus zu Kunstzwecken reducirt worden ist.

Neuere Nachforschungen haben es übrigens bis zu einem gewissen Grade wahrscheinlich gemacht, daß die Galvanoplastik schon den alten Aegyptern müsse bekannt gewesen sein. Antike Gefäße aus den Grabmälern von Theben und Memphis fanden sich mit einem dünnen Metallüberzuge versehen, der unter dem Mikroskop dasselbe Gefüge wie der durch galvanische Elektricität gebildete darbot. Auch metallene Figuren in Lebensgröße hat man gefunden, die jedoch nur ein sehr geringes Gewicht besitzen, so daß man meint, sie könnten nur auf galvanischem Wege entstanden sein, indem man die Figur zunächst aus einem leicht schmelzbaren Material (wie etwa Wachs) geformt und dann mit einem galvanoplastischen Metall-

---

*) Die Galvanoplastik rc. Petersburg 1840.

**) Dingler's polytechnisches Journal. Bd. LXXV. S. 34 und Bd. LXXVII. S. 343.

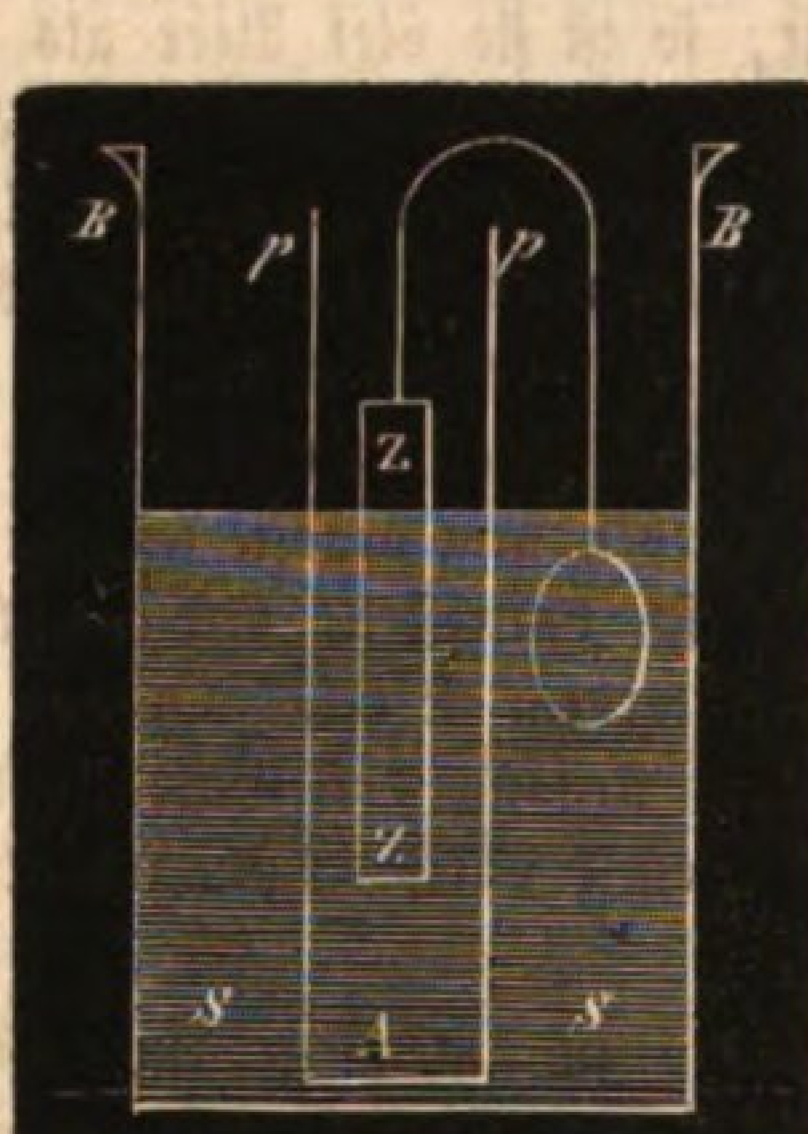
***) Smee, Electrometallurgie rc. Einleitung.

****) Annali di Chimica. 1803. Van Mons, Journ. de Chimie et de Phys. T. V. Philosoph. Magaz. 1805 u. Archives of Phil. knowledge.

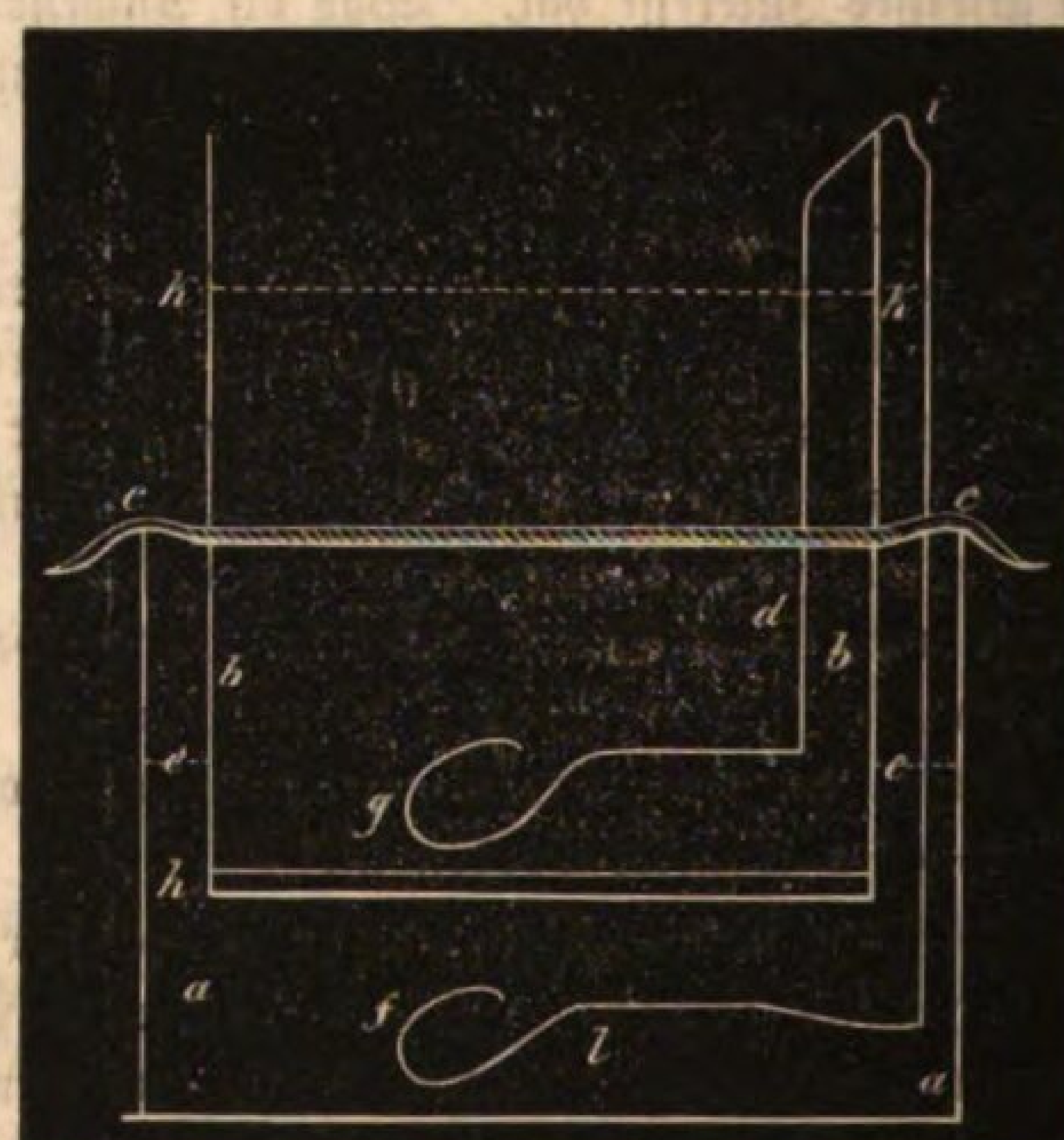
überzuge versehen habe. Die leicht schmelzbare Form wurde dann durch Wärme hinweggeschafft.

Von den verschiedenen Formen der Apparate, welche zur Fällung (Präcipitation) der Metalle gebraucht werden können, ist die einfachste eine einem Daniell'schen Elemente ganz ähnliche Einrichtung. Sie besteht aus einer irdenen porösen Röhre zur Aufnahme der Säure und des Zinks, während das negative Glied, welches gewöhnlich als Form gebraucht wird, außerhalb der irdenen Röhre aufgestellt, und durch ein Stück Draht mit dem Zink verbunden wird. Man nehme z. B. ein Becherglas B, fülle dies zur Hälfte mit einer Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd S und stelle darin das irdene poröse Gefäß p mit der verdünnten Säure A und dem Zink Z. Dies macht den ganzen Apparat aus wie ihn Fig. I. darstellt. Die Kupferlösung muß jedoch immer gesättigt erhalten werden, was man dadurch bewirkt, daß man eine Portion des Salzes in einem Beutel von Leinwand über dem Kupfer aufhängt. Diese Form beschreibt Smee *). Eine andere Form des Apparats hat Böttger **) angegeben. Ein gläsernes Gefäß aa (Fig. II.) wird mit gesättigter Kupfervitriollösung bis ee gefüllt und in dieses ein an beiden

I.



II.



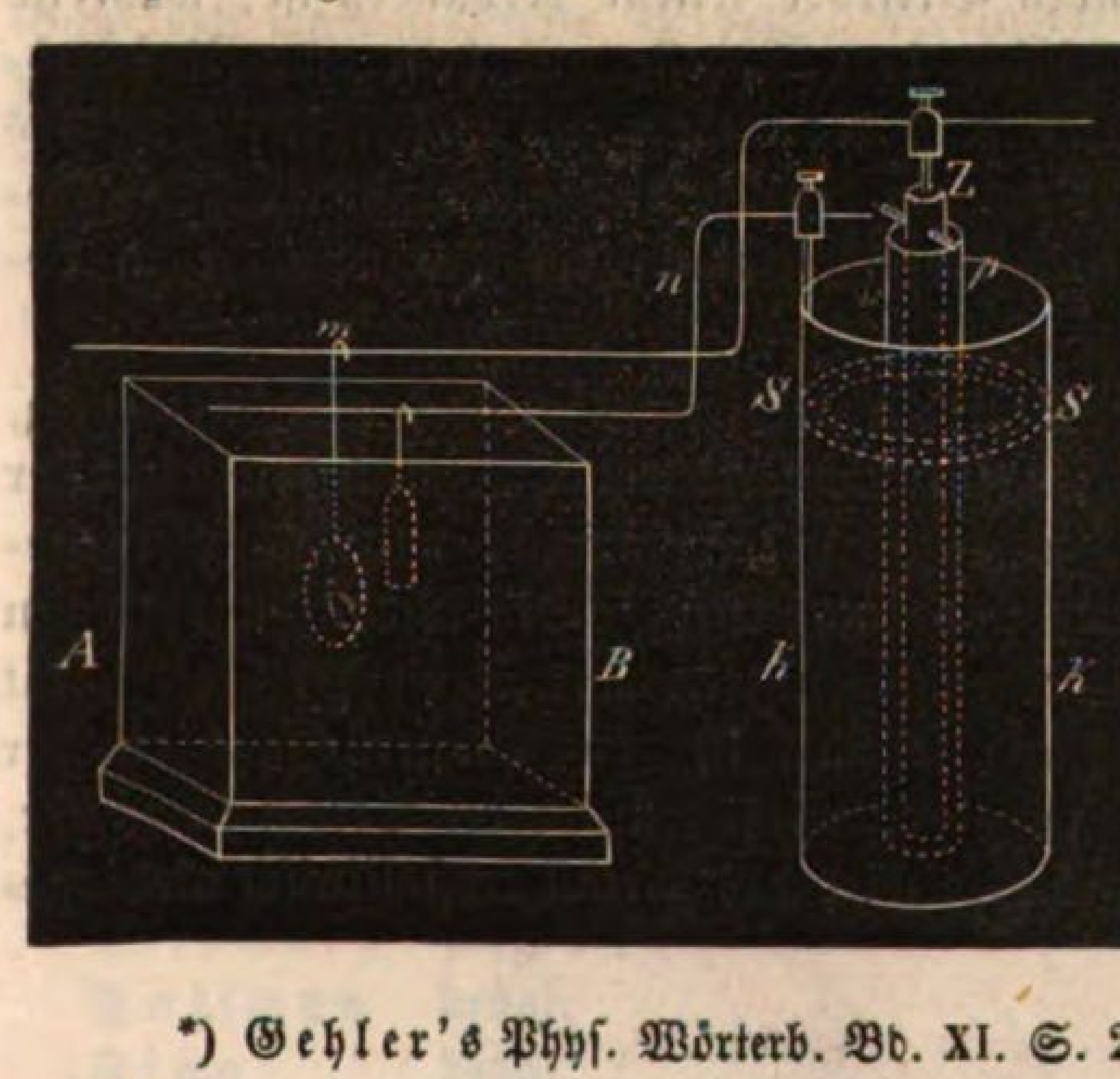
Seiten offener Glascylinder bb, mittelst des umgeschlungenen und an beiden Seiten zusammengedrehten Drahtes cc aufgehangen. Statt des haltenden Drahtes kann man natürlich auch einen hölzernen auf dem Rande des unteren Gefäßes aufliegenden Ring nehmen. Der untere Theil des Cylinders ist mit einer vorher erweichten dünnen Thierblase überbunden und damit diese nicht ableite, wählt man zweckmäßig Glascylinder mit etwas ausgebogenem Rande. Einem 1,5 bis 2 Linien dicken Kupferdraht wird die Form gdilf gegeben, derselbe bei i so stark zusammengedrückt, daß er an den Wandungen des Glascylinders anliegt und bei

*) Elektrometallurgie. 108.
**) Beiträge zur Physik u. Chemie. 2. Heft. Frankfrt. 1842. S. 80.

g und f ringförmig umgebogen. Zwischen dem unteren Ringe f und der Thierblase beträgt der Raum nur etwa 2 Linien, zwischen dem oberen Ringe g und der Thierblase dagegen 2,5 bis 3 Zoll. Auch pflegt man das in der Kupfervitriolsolution befindliche Drahtende l e stark mit Siegellack zu überziehen, um die Ablagerung des Kupfers daselbst zu vermeiden. Beim Gebrauche füllt man das untere Gefäß mit der erkalteten concentrirten, durch Leinwand geseihten Kupfervitriollösung und wirft auf den Boden einige reine Krystalle des Salzes, um die Lösung längere Zeit bei gleicher Concentration zu erhalten, legt die Form auf den Ring f, senkt den mit dem gebogenen Drahte versehenen oberen Cylinder hinab, legt auf den Ring g eine angemessene, dicke und vorher amalgamirte Zinkplatte, füllt den Cylinder p p bis zur Höhe k k mit Wasser und setzt diesem etwas verdünnte Schwefelsäure hinzu. Nachdem die Thätigkeit des Apparates etwa 24 Stunden gedauert, hebt man den Cylinder b b heraus, und rührt die Kupfervitriollösung mit einer Glasstange oder einem Holzstäbchen um. Sind die anfangs eingelegten Krystalle aufgelöst, so bringt man andere hinein, erneuert auch das gesäuerte Wasser und reinigt die Zinkplatte oder ersetzt sie, falls sie stark zerfressen ist, durch eine andere. Die Dicke des abgelagerten Kupfers wächst im Verlauf von 8 Tagen bis zu 1 Linie und darüber.

Der Apparat, welcher als Präcipitationstrog dient, kann in seiner Gestalt sehr verschieden sein; rund, flach, viereckig, nach der Form des zu copirenden Gegenstandes. Seine Dimensionen können variiren vom Gehalt einiger Tropfen bis zum größten Kübel, welcher mit der Metallauflösung angefüllt wird. Man kann metallene, gläserne, porzellanene, guttaperchane Gefäße, so wie auch hölzerne Kasten anwenden, welche letztere aber, um das Eindringen der Flüssigkeit zu verhindern, inwendig verpicht sein müssen. Statt der Thierblase und der porösen Thongefäße dient auch weiches, am besten Lindenholz, welches vorher eine Stunde in schwefelsäurehaltigem Wasser ausgekocht ist.

In den bisher beschriebenen Apparaten werden die Metalle auf das negative Metall eines einfachen Elements niedergeschlagen. In gleichen Weise wird das Metall niedergeschlagen, wie man auch eine Platte in elektronegativen Zustand versetzen mag. Wenn man eine Batterie, welche hinreicht, um angesäuertes



Wasser zu zersetzen, mit zwei Platinpolen verbindet, so wird an einem Pole Sauerstoff, am andern Wasserstoff sich entwickeln; auf dem letztern wird demnach das Metall präcipitirt werden. Man wendet dazu gewöhnlich constante Ketten an, z. B. unter vielen anderen folgende*). Ein hohler Cylinder von Kupfer k k wird mit der Auflösung von Kupfervitriol gefüllt, und ein oben angebrachtes Sieb SS dient dazu, Krystalle dieses Salzes aufzunehmen; in diesen

*) Gehler's Phys. Wörterb. Bd. XI. S. 222.

Cylinder wird das poröse Gefäß p mit schwach gesäuertem Wasser gestellt, in welchem der Cylinder von Zink z hängt. Das gläserne oder porzellanene Gefäß A B enthält gleichfalls gesättigte Kupfervitriolsolution, in welche das galvanoplastische Modell eintaucht. Dieses hängt an einem Metalldrahte, welcher mit dem starken Kupferdrahte m leitend verbunden ist, dessen anderes Ende mit der Zinkstange vereinigt wird, während der mit dem Kupfer verbundene Draht n in geringer Entfernung von dem Modelle gleichfalls in die Solution taucht. Besser ist es an diesem zweiten Drahte ein Kupferblech herabhängen zu lassen, weil dann nach dem Wesen der Elektrolyse von diesem Kupfer eben so viel aufgelöst wird, als sich auf dem Modelle niederschlägt. Dieser Apparat läßt sich auch leicht zum Gebrauche des Vergoldens, Versilberns &c. modificiren. Statt der angegebenen einfachen Daniell'schen Kette kann aber auch jede andere von constanter Wirkung gebraucht werden. Man wird also eben so die Bunsen'sche oder Grove'sche Kette anwenden können. Auch die Smee'sche Batterie, obgleich nicht ganz constant, läßt sich recht gut benutzen. Sie besteht nämlich aus amalgamirtem Zink und platinirtem Silber, welche beide in verdünnte Schwefelsäure getaucht werden. Smee giebt folgende Vorschrift, um das Silber zu diesem Zwecke zu präpariren *).

Das zu präparirende Metall muß von einer Dicke sein, die hinreicht, den Elektricitätsstrom zu leiten und muß etwas rauh gemacht werden, entweder durch Sandpapier oder durch Ueberstreichen mit starker Salpetersäure. Das Silber wird dann gewaschen, und in ein Gefäß voll verdünnter Schwefelsäure gestellt, worein man wenige Tropfen von gewöhnlicher Platinlösung gießt. Man setzt dann eine poröse Röhre in dies Gefäß mit ein paar Tropfen verdünnter Schwefelsäure, und in dieses stellt man die Zinkstange. Wird nun die Verbindung hergestellt, so schlägt sich in wenig Secunden das Platin auf der Oberfläche des Silbers als ein schwarzes metallisches Pulver nieder. Eisen auf diese Weise präparirt ist fast eben so wirksam wie Silber.

Man kann die Modelle, anstatt sie im Niederschlagungstroge vertical herabhängen zu lassen, auch auf eine Unterlage von Glas, Holz oder Porzellan horizontal legen und in geringem Abstande über ihnen eine Kupferplatte anbringen, welche mit der vom Kupfer ausgehenden Elektrode leitend verbunden ist, während zugleich eine leitende Verbindung zwischen dem Modelle und dem vom Zink ausgehenden Kupferdrahte besteht. Will man die Stärke des elektrischen Stromes dauernd regulirt erhalten, so schaltet man in den Verbindungsdraht ein Galvanometer ein, um die Stromstärke durch die Abweichung der Magnetnadel zu bestimmen.

Die Metalle werden nach der Stärke des Stromes entweder pulverförmig, krystallinisch oder cohärent niedergeschlagen. Kupfervitriol z. B. wird bei zu großer Stärke des Stromes rascher zersetzt als sich anderer auflöst, und das niedergeschlagene Kupfer wird dann braunroth und incohärent. Die Metalle werden im allgemeinen als schwarzes Pulver niedergeschlagen, wenn der Strom der Elektricität im Verhältniß zur Stärke der Auflösung so stark ist, daß Wasserstoffgas an der negativen Platte der Zersetzungszelle entwickelt wird. Wird der Strom schwächer, so daß diese Entwickelung eben aufhört, so wird das Metall krystallinisch niederge-

*) Elektrometallurgie.

schlagen, nimmt der Strom noch mehr ab, so schlägt sich das Metall gehörig cohärent nieder, und zwar um so besser, je schwächer der Strom ist. Zugleich ist die Temperatur von Bedeutung, indem bei hoher der Niederschlag rascher folgt, bei sehr niedriger aber ganz aufhört. Die Stärke des Stromes läßt sich in den meisten Fällen leicht reguliren durch Vergrößern oder Verkleinern, Nähern oder Entfernen der Polplatten und durch größere oder geringere Concentration der verdünnten Säure. In der Regel gebraucht man zur Galvanoplastik nur schwache Ströme, kann aber, wenn es für größere Gegenstände nöthig sein sollte, leicht eine wirksamere Batterie erhalten, wenn man bei mehreren einfachen Ketten alle Zink- und ebenso alle Kupferplatten unter einander verbindet. Um zu verhindern, daß das oberhalb der Form sich auflösende Kupfer, das leicht brüchig wird, theilweise auf die Form herabfällt, was namentlich geschieht, wenn dieselbe horizontal liegt, steckt man die Kupferplatte häufig in einen Sack von Leinwand. Statt poröser Thoncylinder bedient sich Spencer auch gläserner oder glasirter, die dann aber unten offen sind und mit einer 0,75 Z. dicken Gypsscheibe verschlossen werden. Natürlich kann man in den von den Säulen abgesonderten Behältern gleichzeitig an dem nämlichen Drahte mehrere Modelle aufhängen, und die einzelnen ohne Nachtheil für die übrigen herausnehmen und wieder hineinhängen.

Der galvanische Niederschlag von Metall erfolgt nur auf eine leitende Substanz, kann aber auf die meisten Metalle geschehen, ausgenommen auf die metallischen Elemente der Erden und Alkalien; auch auf alle Legirungen oder Verbindungen der Metalle läßt sich der Niederschlag bewirken, eben so auf Kohle, besonders auf Holzkohle und Graphit. Wenn man wünscht, das Duplicat einer Fläche oder Form, welches einem Originale genau entspricht, zu erhalten, so ist es von Wichtigkeit, daß das Metall, auf welches der Niederschlag geschehen soll, nicht selbst die Flüssigkeit zersetze, weil in diesem Falle das Duplicat mehr oder minder verdorben ausfallen würde. So schlagen z. B. Zink, Zinn oder Eisen aus der Auflösung von schwefelsaurem Kupfer das Kupfer unmittelbar nieder, und es geht natürlich dafür das Aequivalent eines jeden von jenen Metallen in Auflösung über. Eben so muß man bei nicht metallischen Modellen, die man dann vorher mit einer Haut von einer leitenden Substanz überzogen hat, wohl darauf Achtung geben, daß sie nicht von der Flüssigkeit, in welche man sie einzutauchen hat, angegriffen werden.

Smee giebt folgende kurze Liste der Substanzen, welche je nach den verschiedenen Flüssigkeiten als Modelle gebraucht werden können:

Kohle in allen Metallauflösungen, saueren, neutralen wie alkalischen.
Platin desgl.
Gold desgl.
Palladium desgl.
Silber in allen Auflösungen nicht der vorhergehenden, sondern nur der nachfolgenden Metalle, saueren, neutralen, alkalischen.
Kupfer desgl.
Blei desgl.
Wismuth desgl.
Antimon desgl.
Zinn desgl.

Eisen desgl.
Zink desgl.
Gutta Percha desgl.
Siegellack nicht in alkalischer.
Weißes Wachs desgl.
Wachs u. Harz desgl.
Stearin desgl.
Spermaceti desgl.
Gyps (präparirt) desgl.
Einige thierischen Substanzen ebenso, doch auch nicht in manchen Säuren.
Die meisten pflanzlichen Substanzen ebenso.

Um nicht leitende Modelle leitend zu machen, kann man sie entweder mit Graphit überziehen oder bronziren. Der Graphit ist gewöhnlich vorzuziehen. Unter den nicht leitenden Stoffen sind unbedingt am bequemsten anzuwenden mit Wachs getränkter Gyps und Gutta Percha, wegen der großen Genauigkeit und Schärfe die sie gewähren, wenn man durch sie einen Abdruck irgend eines Gegenstandes nimmt. Der gebrannte pulverisirte Gyps wird mit Wasser zu einem dünnen Breie angerührt. Der zu modellirende Gegenstand z. B. eine Medaille, wird auf ein Blatt Papier gelegt und mit einem Rande umgeben; darauf die Oberfläche mittelst eines steifen Pinsels mit dem Gypsbrei eingerieben, so daß keine Luftblasen in etwaigen feinen Ritzen haften bleiben, und wenn dies gehörig geschehen, so viel Gyps darüber gegossen als nöthig ist, um ein Modell des Gegenstandes, ein sogenanntes Intaglio, zu erhalten. Der Gyps bindet schnell das Wasser und erhärtet, so daß man nach einigen Minuten das Intaglio abheben kann. Nach dem Trocknen wird es mit der Rückseite in heißes flüssiges Wachs gelegt, und so lange darin liegen gelassen, bis sich das Wachs durch Capillarität bis an die Oberfläche heraufgesogen hat. Auf diese Weise werden die etwaigen Feinheiten des Intaglio nicht durch geronnenes Wachs ausgefüllt. Es läßt sich zu diesem Zwecke wohl auch Stearinsäure oder Oel anwenden.

Gutta Percha widersteht natürlich schon an und für sich der Einwirkung der Flüssigkeit. Hat man Papierformen, so müssen diese mit einem trocknenden Oele, z. B. Nußöl, am besten Leinöl, getränkt werden. Auch läßt sich das Wachspapier der Apotheker gebrauchen.

Außerdem kann man auch Modelle von Wachs oder Stearinsäure oder einem Gemisch aus beiden anwenden, oder auch unter das schmelzende Gemisch gepulverten Graphit rühren. Diese Masse ist noch geeigneter zu Modellen und zugleich leitend.

Der Schwefel ist bekanntlich ein Stoff der sehr feine Abgüsse gestattet, aber zu galvanoplastischen Modellen ist er durchaus nicht anwendbar, da das frisch niedergeschlagene Metall nach Smee's *) Angabe kaum mit dem Schwefel in Berührung gekommen sich auch mit ihm verbindet, und ein Sulphid bildet. Der Abguß schwillt dabei sehr stark auf und wird gänzlich aufgelöst. Das einzige Mittel zur Beseitigung dieses Uebelstandes ist die Schwefelform mit einem Firniß zu über-

---

*) Elektrometallurgie.

ziehen, z. B. mit Mastixfirniß, jedoch immer nur äußerst dünn. Jacobi erwähnt, daß der Schwefel wirklich zur Aufnahme von Kupfer gebraucht werden könne. Smee meint aber, daß hier wahrscheinlich ein Fehler des Gedächtnisses obwalte, oder sonst eine Vernachlässigung.

Auch Hausenblase *) kann zu diesem Zwecke benutzt werden. Zwei Loth Hausenblase werden in einem Mörser zerstoßen in eine Flasche geschüttet und mit einer halben Pinte (1,25 Pfd.) Branntwein versetzt. Die Flasche verschließt man mit einem Kork, welcher an einer Seite einen Einschnitt hat, stellt sie ans Feuer und erhält die Masse drei bis vier Stunden unter wiederholtem Umschütteln im Sieden. Ist die Hausenblase gehörig aufgelöst, so seiht man sie durch ein leinenes Läppchen, füllt sie in eine reine Flasche und verschließt sie mit einem Stöpsel. Bei der Anwendung macht man die Masse durch Wärme wieder flüssig, putzt die Metalle rein, legt sie horizontal, schüttet die Hausenblase bis zu gehöriger Dicke darüber, und läßt sie trocknen, was im Sommer bei trockenem Wetter in einigen Tagen erfolgt. Durch Einbringen der Spitze eines Federmessers läßt sich die Trennung leicht bewerkstelligen; man erhält eine sehr feine Form, allein das Verfahren ist mühsam. Gyps und Gutta Percha bleiben immer die bequemsten Stoffe.

Wir kommen nun zu den verschiedenen Anwendungen der Reduction der Metalle durch Galvanismus, und werden zunächst über die Vervielfältigung von Münzen und Medaillen sprechen. Für den Numismatiker ist die Reduction der Metalle durch Galvanismus von der größten Wichtigkeit; denn auf der einen Seite erhält er auf diese Weise Abgüsse von Münzen und Medaillen, welche er sonst wegen ihrer großen Seltenheit nimmer in den Besitz bekommen würde; auf der anderen Seite aber hat der Münzfabrikant die Mittel in den Händen, die seltensten Münzen nachzuahmen, so daß der Münzsammler doppelt vorsichtig bei seinen Einkäufen sein muß.

Man hat drei Methoden Duplicate von Münzen und Medaillen zu machen. Nach der ersten wird ein erster Guß oder Intaglio in Metall direct durch galvanische Präcipitation hergestellt; nach der zweiten wird zuerst ein Metallabguß gemacht, entweder in leicht schmelzbarem Metall oder Typen- oder analogem Metalle; und nach der dritten erzeugt man den Intaglio aus einer nicht leitenden Substanz, wie Wachs, Siegellack, Gutta Percha u. a. m.

Von einem einzig bestehenden Exemplar einer Münze oder Medaille nimmt man nicht gern einen Primärniederschlag, da ein Mißlingen, selbst bei der erforderlichen Uebung, immer möglich ist. Auf jeden Fall muß man große Vorsicht anwenden. Der Avers und Revers können in zwei Operationen copirt werden, oder auch gleich in einer, wobei man die Vorsicht braucht, den Rand einzufetten, so daß die Medaille durch den neuen Niederschlag nicht eingeschlossen werden kann. Die so erhaltenen Niederschläge können wieder als Form dienen, um einen galvanischen Niederschlag aufzunehmen, und man kann so eine vollkommene Relief-Copie des Originals darstellen.

Intaglios können aber auch von Münzen und Medaillen in Blei- oder Silberblech, in leichtflüssigem Metalle, Zinnfolie ꝛc. gefertigt werden; diese Intaglios lassen sich dann ebenfalls unmittelbar zur Aufnahme des metallischen Niederschlags

*) Gehler's Physik. Wörterbuch. Bd. XI. S. 228.

benutzen. Die dritte Methode ist endlich die, welche man allgemein anwenden sollte. Denn aus nicht leitenden Substanzen können wir die ausgezeichnetsten Formen zur Aufnahme des Niederschlags erhalten. Für Münzen, kleine Medaillen und Cameen werden Abdrücke in Siegellack von den Liebhabern vorgezogen. In solche Abdrücke schmilzt man einen feinen Draht ein und überzieht sie mit Graphit; sie sind nun fertig um copirt zu werden. Gegenwärtig macht man von Gutta Percha hauptsächlich Gebrauch, da sie gerade für diese Zwecke die schätzbarsten Eigenschaften besitzt.

Gewöhnlich wird man die Duplicate von Kupfer niederschlagen. Man kann diese dann, wenn es erforderlich ist, nach den weiter unten angegebenen Methoden vergolden, versilbern oder verplatiniren. Große Dicke des Kupfers ist für Medaillen nicht erforderlich, denn wenn sie so dick wie Oblaten und sonst nur von guter Qualität sind, so wird das vollkommen hinreichen; wenn man ja den Niederschlag verstärken wollte, so könnte man denselben von hinten mit Siegellack überziehen. Der bei gehöriger Führung des Processes in 24 Stunden erfolgende Absatz ist für die meisten Zwecke völlig ausreichend. Man kann auch Medaillen von Zink niederschlagen, doch besitzen diese nicht besondere Schönheit, auch scheint in diesem Falle eine Metallform nothwendig zu sein. Dasselbe gilt für Medaillen von Eisen. Smee *) giebt an, daß am besten dazu das Eisenmonochlorid anzuwenden sei. Jedenfalls ist es aber besser das von Böttger vorgeschlagene Ammoniumeisenchlorür anzuwenden.

Nach meiner Erfahrung ist auch ein Gemisch von Eisenchlorür mit Chlornatrium sehr zweckmäßig.

Das Prägen von Münzen und Medaillen ist gewöhnlich bei weitem einfacher als die galvanoplastische Darstellung derselben. Doch gilt dies nur innerhalb gewisser Grenzen, denn sobald als die Münzen oder Medaillen über eine gewisse Größe hinaus gehen, wird ein Schlag nicht hinreichen, um den Abdruck vollkommen zu bewirken. Es sind zwei oder drei Schläge erforderlich und nach einem jeden ist die Medaille in einem Ofen auszuglühen, da die Compression vom ersten Schlage sonst die Wirkung des zweiten bedeutend geringer ausfallen läßt. Die größte Medaille, welche so geschlagen ward, war die von Boulton, von welcher einige Feinheiten erst bei 300 Schlägen gekommen sein sollen. Hier zeigt nun die Anwendung der Elektricität ihren praktischen Werth, und für größere Medaillen möchte diese Methode jede andere völlig beseitigen. Hat man Avers und Revers einer Medaille dargestellt, so kann man die galvanischen Abdrücke mit Metall gefüllt an den Hinterseiten so verbinden, daß es unmöglich ist die Linie der Vereinigung zu sehen.

Auf ganz ähnliche Weise wie Münzen und Medaillen kann man Siegel, Gypsmedaillons, bronzene und messingene Gedächtnißtafeln copiren. Alle mit erhabener Arbeit versehene Oberflächen sind sehr leicht zu copiren, die Flächen mögen aus Papier oder einer anderen Substanz bestehen. Sie müssen zuerst nicht absorbirend gemacht werden durch Oel, Firniß oder Wachs, für Papier ist vielleicht Leinöl vorzuziehen.

Man kann Pflanzen, Früchte und Blätter, nachdem man sie vorher graphitirt hat, mit einem dünnen Ueberzuge von metallischem Kupfer versehen. Setzt man

---

*) Elektrometallurgie. S. 336.

diesen Proceß fort, bis ein dicker Absatz sich gebildet hat, anstatt den Gegenstand blos zu überziehen, so erhält man eine Form für jeden beliebigen Zweck. Ein Abdruck so dargestellt, z. B. von einem Blatt einer Eiche ist durchaus vollkommen. Prof. Silliman in Nordamerika *) hat die Perlmutter mit ihren irisirenden Farben copirt, indem er ein geschliffenes Stück Perlmutter in erstarrendem leicht flüssigem Metallgemisch abdrückte und auf diese Form Silberplättchen sich niederschlagen ließ, auf welche dann, wie der Erfolg zeigte, die feinen Riefen die das Farbenspiel veranlassen, galvanoplastisch übertragen waren.

Boulton **) hat das Auge einer Stechfliege copirt, so daß die Copie unter dem Mikroskope alle die Facetten zeigte, wie das originale so zusammengesetzte Auge.

Auch für den Bildhauer ist die Galvanoplastik sehr wichtig. Er kann in einen Gypsabguß, den er von seinem ersten Modelle genommen, nachdem er ihn gehörig präparirt, eine galvanische Copie niederschlagen, ein Proceß, der leichter ist, genauer und weniger gefährlich als der des Metallgießens. Eine solche auf galvanoplastischem Wege dargestellte Statue ist z. B. die von Hahnemann in Leipzig. Auch für Ornamente, Basreliefs ꝛc. kann die Galvanoplastik mit Vortheil angewendet werden. Höchst nützlich ist sie auch für Modellmacher; Smee beschreibt ein Modell, welches James für die Londoner Ausstellung fertigte. Es ist eine vollkommene Vorstellung der Menay-Brücke in verkleinerten Maßstabe. Auch ein anderes Modell von der großen Hängebrücke über den Dniester war daselbst aufgestellt. Die Galvanoplastik ließe sich vielleicht anwenden Röhren von Kupfer von verschiedener Krümmung zu fabriciren, auch hat man die Stöpsel auf den Weinflaschen, um letztere wirksam vor dem Zutritte der Luft zu verschließen galvanoplastisch mit Kupfer überzogen. Die Mechaniker wenden die Galvanoplastik zuweilen an, um Maßstäbe und Kreistheilungen zu vervielfältigen. Der Mechaniker Leyser in Leipzig verfertigt Boussolen, deren Kreistheilung er auf diese Weise erzeugt hat. Auch zu Spiegeln hat man sie angewendet. Große Planspiegel auf polirtem Metall niedergeschlagen, lassen sich schwer ablösen.

Ich habe beim Mechaniker Stöhrer in Leipzig große versilberte Hohlspiegel von Kupfer gesehen, die zu thermischen Zwecken wie zu optischen gleich brauchbar sind. Er fertigt sie, indem er sie auf eine Form von Stearinsäure niederschlägt, versilbert und polirt. Eine wichtige und zugleich eine sehr ausgebreitete Anwendung der Galvanoplastik ist die zur Vervielfältigung von Typen in den Schriftgießerofficinen. Gewöhnlich werden die Typen nicht unmittelbar galvanoplastisch vervielfältigt, sondern man bereitet sich nur auf diesem Wege die Matrizen, worin die Lettern dann gegossen werden, indem man sich eine Patrize des fraglichen Schriftzeichens verschaft und auf diese eine Kupfermatrize niederschlägt. Damit diese Matrizen in den Gießapparat passen, müssen sie an den Rändern und auf der Rückseite noch mit einem metallischen Umguß versehen werden, der leichter fließen muß als Kupfer aber schwerer als das Letterngut. Ich habe in mehren Officinen, so in der von Breitkopf und Härtel in Leipzig ein Gemisch von Kupfer und wenig Antimon mit vielem Vortheil dazu anwenden sehen. Smee ***) macht den Vor-

*) Timb's Jahrbuch der Thatsachen für 1847.
**) Smee, Elektrometallurgie. S. 346.
***) Elektrometallurgie. S. 360.

schlag, die Stereotypenplatten, statt sie aus Letterngut zu gießen, lieber durch galvanoplastischen Niederschlag aus Kupfer herzustellen, indem dieses wahrscheinlich länger aushalte und mehr hinreichend scharfe Abdrücke gestatte als das Typenmetall.

Man kann auf galvanoplastischem Wege glatte Kupferplatten erhalten, die zum Graviren wie zum Aetzen für Kupferstecher dem gewöhnlichen Kupfer weit vorzuziehen sind, theils wegen der gleichförmigen Textur, theils wegen der chemischen Reinheit, die eine größere Gleichmäßigkeit der Einwirkung der Säure zur Folge hat. Man kann diese Platten sowohl auf Kupfer als auf jedem anderen leitenden oder mit einem leitendem Ueberzuge versehenen Stoffe niederschlagen. Gravirte Kupferplatten sind nicht schwieriger zu copiren als glatte. Die Zeichnung auf allen gravirten Kupferplatten ist gleichsam ein Intaglio oder eine in die Oberfläche eingelassene Hohlform, und die Aufgabe ist ein Duplicat in einem ähnlichen Zustande zu erhalten. Um dies zu bewirken, muß zuerst ein Revers in Relief genommen werden. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen. Entweder man führt ihn in Wachs, Gutta Percha oder Gyps aus, von denen Wachs zwar feine Abdrücke giebt, aber bei großen Platten schwierig anzuwenden ist, Gyps aber der Feinheit der Abdrücke Eintrag thut; oder man führt das Relief galvanoplastisch in Kupfer aus, was jedenfalls das geeignetste und allgemein angewendete Verfahren ist. Auf diese so erzeugte Platte kann man eine beliebige Anzahl von Platten nach einander niederschlagen, die der gravirten Originalplatte genau ähnlich sind. Die Zeichnungen, mögen sie nun durch Grabstichel und Radirnadel erzeugt oder durch Säuren in das Kupfer eingeätzt, oder nach der Methode der sogenannten schwarzen Kunst verfertigt sein, lassen sich nach allen diesen drei Methoden dargestellt genau galvanoplastisch copiren.

Smee *) giebt eine Beschreibung von der Methode der Multiplication der gravirten Platten, welche in England im Ordenance Map Departement (der Land- und Seekartenanstalt der Regierung) angewendet wird. Die Karten werden erst auf Papier gezeichnet und dann von den Kupferstechern bearbeitet; auch die Schrift wird durch mechanische Mittel ausgeführt. Die Kupferplatten sind sehr groß, man nennt sie technisch, nach dem entsprechenden Papierformat, „doppelt Elephanten-Platten.“ Sind sie fertig, so bringt man sie in den Elektrotypenapparat. Die Batterien bestehen aus silberplattirten platinirten Kupferplatten, deren hintere Seiten und Kanten sehr gut gefirnißt sind, um hier jede Wirkung durch die erregende Flüssigkeit zu verhindern. Die Kupferplatten sind sorgfältig an einen Rahmen geschraubt, und die zu den Batterien gebrauchten Tröge sind von solcher Tiefe und Größe, daß die darin enthaltene verdünnte Schwefelsäure fast 2 Jahr ausreicht, ehe sie mit Zink vollständig gesättigt ist. Die Tröge sind praktisch und bequem. Das Zink wird in großen gegossenen amalgamirten Platten angewendet. Die Präcipitationströge sind flach, und jeder steht auf vier Rädern, um ihn leicht zu bewegen. Der positive Pol besteht aus einer dicken Kupferplatte, welche auf dem Boden des Gefäßes liegt. Die zu copirende Platte wird darüber befestigt. Die Auflösung ist sehr verdünnt, in sofern diese Form des Apparats einen etwas langsamen Absatz verlangt. Daß man hier die negative Platte zu oberst aufstellt

*) Elektrometallurgie. S. 373.

geschieht, damit nicht irgend ein fremder Körper auf die Platte falle, und dadurch das Duplicat verderbe. Aber diese Anordnung würde einen schlechten Absatz von Metall entstehen lassen, wenn nicht eine Einrichtung getroffen wäre, um die Flüssigkeit circuliren zu lassen, und eine gehörige Vertheilung des Kupfersalzes, was sich immerfort am positiven Pole erzeugt, herbeizuführen. Zur Erreichung dieses Resultats wird der ganze Trog abwechselnd auf die eine und auf die andere Seite gehoben, was natürlich ein Abströmen der schwereren Theile nach den niederen Stellen des Gefäßes verursacht. Diese Bewegung wird durch mechanische Vorrichtungen, welche durch eine Dampfmaschine bewegt werden, hervorgebracht. Die Bildung des Niederschlags in diesem horizontalen Apparate muß nothwendig eine langsame sein, aber man giebt an, daß sich anderthalb bis zwei Pfund Kupfer auf eine doppelt Elephantenplatte jeden Tag absetzen.

Poetwin hat eine Methode beschrieben *), nach welchen man auf Platten erhabene oder vertiefte Abdrücke von Kupferstichen oder Zeichnungen erhalten kann. Letztere werden jodirt, d. h. mit Jod geräuchert, welches nur schwarzen Stellen anhängt, das Blatt wird dann auf eine Silberplatte gelegt, welche, wie zu Lichtbildern polirt worden ist, und leicht aufgedrückt. Das Jod wird so auf das Silber übertragen, daß sich Stellen von Jodsilber bilden, genau den geschwärzten Stellen der Zeichnung entsprechend. Die Platte wird dann in eine concentrirte Auflösung von Kupfervitriol eingetaucht, zur negativen Platte einer schwachen Säule gemacht und wieder aus der Auflösung herausgenommen, bevor das Kupfer die jodirten Stellen überzogen hat. Die Platte wird gewaschen und das Jodid durch unterschwefligsaures Natron entfernt; die verkupferten Stellen werden dann durch Erhitzung oxydirt bis sie dunkelbraun geworden sind, die nun blosgelegten Stellen von Silber nach dem Abkühlen amalgamirt, und die Platte dann mit zwei oder drei Lagen von Goldhäutchen belegt, und das Quecksilber darauf verflüchtigt. Das Gold bürstet man nun von den Theilen, welche mit Kupferoxyd bedeckt waren, und wo es also nicht anhaftete, ab; das Kupferoxyd wird aber durch eine Auflösung von salpetersaurem Silber aufgelöst und das Silber wie das darunterliegende Kupfer, der Einwirkung von Salpetersäure unterworfen. Die mit Gold bedeckten Theile werden nicht angegriffen. Das Aetzen kann bis zu jeder Tiefe fortgesetzt werden; von der so erhaltenen Platte kann man Abdrücke nehmen in der nämlichen Weise wie von Holzschnitten. Um Platten zu erhalten; welche tief gravirt sind, wie die Platten zu gewöhnlichen Kupferstichen, benutzt man vergoldete Kupferplatten. Nach obigem Verfahren sind die lichten Stellen kupfern und den Schattentheilen wird die Jodine entzogen, das Gold durch Amalgamation von denselben Stellen entfernt und das Kupferoxyd von den lichteren Stellen durch Säure. Letztere werden dann wieder mit Gold bedeckt, um sie vor der Einwirkung der Säure zu schützen. Durch Aetzen erhält man eine Platte wie zu gewöhnlichen Kupferstichen.

Will man Stahlplatten copiren, so kann man diese nicht unmittelbar der Kupferlösung aussetzen, weil der Stahl davon angegriffen wird. Man hat daher vorgeschlagen, einen Primärabdruck von Blei, Gutta Percha, Wachs, Gyps oder anderen geeigneten Substanzen zu verfertigen, und auf diesen dann den Kupferniederschlag erfolgen zu lassen. Doch geht dadurch viel von der Feinheit des Originals verloren. Diesem Uebelstande weicht man aus, wenn man nach Smee's

*) Smee, Elektrometallurgie. S. 376.

Vorschlage die erste Platte nicht von Kupfer, sondern von Silber niederschlägt, und dann auf dieses Silberrelief kupferne Copien der Originalplatte präcipitiren läßt. Man kann nun zwar nach dem Gebrauche das Silber wieder einschmelzen, aber bei größeren Platten ist der Proceß doch ziemlich kostbar. Da man Eisen durch Eintauchen in ein Silbersalz, in Folge des dadurch entstandenen Silberhäutchens, vor jedem Angriff von Kupfersalzen bewahren kann, so ist es nicht unwahrscheinlich, daß auch hier eine äußerst dünne Versilberung der Stahlplatte leichter und besser zum Ziele führen werde, als alles andere.

Um einen Holzschnitt zu vervielfältigen, überzieht man die hintere Seite und die Kanten und Ecken mit Wachs oder Fett, graphitirt den Holzschnitt, und taucht denselben auf die gewöhnliche Weise in die Kupferauflösung ein, worauf man eine vertiefte Kupferform erhält. Diese Form kann zu einem Kupferreverse gebraucht werden, wie er dann zum Drucken dient; oder man kann auch galvanoplastische Copien, die dem Holzschnitt ähnlich sind, davon machen. Warren de la Rue hat bemerkt, daß solche Elektrotypen nicht lange mit Zinnober gedruckt werden können, während gewöhnliches Kupfer zu diesem Zwecke sich ganz wohl eignet. Die Elektrotypen zersetzen nach einiger Zeit den Zinnober, und färben sich weiß indem sich Quecksilber reducirt. In mancher Beziehung sind die Elektrotypen selbst Holzschnitten vorzuziehen, da das Kupfer nicht blos viel dauerhafter ist als Holz, sondern auch viel schönere Abdrücke liefert. Wie dauerhaft diese Kupfertypen sind zeigen mehrere Beispiele. Smee erzählt, der „Punch" habe eine solche Titelvignette, von welcher vier bis fünf Millionen Abdrücke gemacht worden seien. Die Londoner illustirte Zeitung hat eine gleiche Vignette, von der bis jetzt wenigstens drei Millionen Abdrücke gemacht worden sind. Vielleicht ließen sich auch bei dem von Baxter erfundenen Tondruck, Elektrotypen mit Vortheil an die Stelle der Holzschnitte setzen.

Auch die Daguerrebilder hat man mit Erfolg, jedoch mit geringerer Sicherheit und Vollendung als bei der gewöhnlichen Galvanoplastik copirt. Es war Grove *), dem es zuerst nach folgenden Verfahrem gelang. Die das Daguerrebild enthaltende Platte wird am Rande und auf der Rückseite mit Gummilackfirniß überzogen, und ebenso eine gleich große Platinplatte, welche auf der anderen Seite mit Platinpulver überzogen ist. Beide Platten behalten am Rande nur eine einzige freie metallische Stelle, die man mit den Elektroden verbindet. Man spannt dann beide Platten mit ihren freien Seiten einander parallel in einem Abstande von 0,2 Zoll gegenüber in einen Rahmen, und taucht sie senkrecht in ein Gefäß, welches eine Mischung von 2 Theilen Salzsäure und 1 Theil Wasser dem Volumen nach enthält. Zur Erzeugung des elektrischen Stromes dient ein Element einer Grove'schen Säule, worin das Platinblech eine gleiche Größe als die Daguerreplatte haben soll; die vom Platin ausgehende Platinelektrode wird mit der freien Stelle der Daguerreplatte, der vom Zink ausgehende Draht (gleichfalls Platindraht) mit der freien Stelle der Platinplatte in Berührung gebracht, und 25 bis 30 Secunden darin erhalten. Eine schwächere Säule würde längere Zeit

*) Procedings of the Electrical Society. T. I. p. 94 von 1841 Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. XIX. p. 247. T. XX. p. 24. Journal für prakt. Chemie. Bd. XV. S. 291. Gehler's Wört. Bd. XI. S. 231.

erfordern, vielleicht aber noch bessere Resultate geben. Man nimmt den Rahmen aus dem Gefäße heraus, könnte ihn aber wieder einsenken und den elektrischen Strom noch einige Zeit wirken lassen, wenn das Präparat nicht vollendet wäre. Die herausgenommene Platte wird mit Wasser gewaschen, in einen Kasten mit sehr verdünntem Ammonik, die braune Zeichnung nach oben, gelegt und mit Hülfe von etwas Baumwolle sanft abgerieben, bis aller Niederschlag gelöst ist, dann herausgenommen, gewaschen und getrocknet. Solche Platten eignen sich sehr zu galvanoplastischen Bildungen, die in gehöriger Dicke über ihnen erzeugt zum Drucken benutzt werden können, weniger lassen sie sich zum Abdrücken unmittelbar verwenden, denn wenn die Aetzung mit Salzsäure so gering ist, daß die feinsten Züge nicht verwischt werden, so dringt die Druckerschwärze nicht in die Vertiefungen, hat aber die Salzsäure stärker geätzt, so werden die feinsten Züge zerstört. Daguerrebilder lassen sich auch unmittelbar als Formen zu galvanoplastischen Erzeugnissen verwenden, allein man erhält dann nur einen einzigen schwachen Abdruck und zerstört das bessere Original.

Eine andere Anwendung der Galvanoplastik ist die Galvanographie (oder wie sie Smee unpassend nennt, die Elektrotinte), welche durch v. Kobell *) im Jahre 1840 einen hohen Grad der Vollendung erhielt. Smee **) hatte ein ähnliches Verfahren gleichfalls angewandt, um Zeichnungen galvanoplastisch zu copiren. Auf eine Kupferplatte, die mit Silber plattirt und polirt ist, wird die Zeichnung mit passenden Farben so aufgetragen, daß die lichtesten Stellen ganz frei bleiben, während die anderen um so dicker belegt werden, je größer die Dunkelheit sein soll. Das Bindemittel der Farben besteht aus einer Auflösung von Wachs und etwas Dammarharz in Terpentinspiritus; von demselben wird der Farbe so viel beigegeben, daß sie vermöge desselben zwar anhaftet, aber nach dem Trocknen blos matt erscheint. Bei sehr tiefen Schatten werden die betreffenden Stellen nachträglich noch mit Oelfarbe übertragen und dann mit Graphitpulver bepudert, wodurch nach dem Abklopfen ein sammtartiger Ueberzug zurück bleibt. Nachdem die Platte so behandelt wird sie auf eine etwas größere Kupferplatte, die am Rande durch Wachs isolirt ist, gelegt. Ein Metallstreifen setzt dieselbe in leitende Verbindung mit dem Zink, das in einem Tambourin befindlich ist. Die untere Oeffnung des letzteren ist mit einem Pergament überspannt. Dasselbe ruht auf Füßen von 1 bis 4,5 Zoll und wird über die Platte mit der Zeichnung gestellt. Auf das Zink legt man eine Bleiplatte, welche mit einem 5 Z. langen und 1 Z. breitem Streifen versehen ist, dessen freies Ende mittelst einer Klemmschraube an den Kupferstreifen der unteren Platte befestigt wird. Die Platten werden in eine gläserne oder porzellanene Schale gebracht, welche mit einer Mischung von einem gleichen Volumen Kupfervitriol in Wasser gelöst, und von Kupfervitriol in Glaubersalzlösung gefüllt ist. In diese Mischung senkt man nun die Trommel so ein, daß das Pergament etwas unter das Niveau der Flüssigkeit eintaucht. Die Zinkplatte wird in einiger Entfernung vom Pergament gehalten, indem man sie in die Trommel etwa auf Glasstäbe legt, und die Trommel bis über die Zinkplatte mit gesäuertem Wasser gefüllt. Es entsteht dann nach Verlauf von 3 bis 4 Tagen

*) Die Galvanographie. München 1843.
**) Lond. and Edinb. Philos. Journ. T. XVI. p. 530.

über kleineren, in 6 bis 8 Tagen über größeren Platten eine hinreichend dicke galvanoplastische Platte. Nachdem die neue Platte abgelöst und die anhaftenden Farbetheilchen durch Aether und Baumwolle entfernt sind, putzt man sie mit weichem Leder und Knochenasche, wornach sie zum Abdrucken fertig ist. Doch kann man auch von ihr nach Vornahme der etwa erforderlichen Correctionen abermals eine Kupferplatte galvanoplastisch darstellen, und auf dieser nach abermaliger Correction eine dritte, die dann zum Abdrucken am geeignetsten ist. Diese Correctionen können durch Auftragen von Farben oder durch einen Schaber und Grabstichel geschehen. Im letzteren Falle giebt Kobell der ersten Platte einen feinen Ueberzug von Silber. In eine gesättigte Kochsalzlösung tröpfelt man eine etwas verdünnte Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, indem man beständig umrührt und so lange zusetzt, bis sich ein unlöslicher Niederschlag von Chlorsilber gebildet hat. In die klar gewordene Flüssigkeit legt man die Platte, nachdem man dieselbe mit Leder und Kalk, der an der Luft zerfallen ist, geputzt hat. Nach einiger Zeit (5 bis 15 Minuten) wird sie vollständig mit einem Silberüberzug versehen sein; sie wird nun getrocknet, mit Leder abgerieben und dann zur Bildung der galvanoplastischen Platte in den Apparat gebracht.

Die Galvanoplastik hat man vorzugsweise benutzt, um irgend ein Metall mit einem dünnen, dauernden Metallüberzug zu versehen. Das Ueberziehen eines Metalls mit einem anderen ist ein Gegenstand von vielem Interesse, und der Proceß hat je nach dem Metalle, das zum Ueberziehen dient, verschiedene Namen bekommen. Eigentlich brauchte man sonst zu diesem Zwecke nur Gold und Silber, und nannte den Proceß des Ueberziehens Vergoldung oder Versilberung, und die überzogenen Gegenstände vergoldet oder versilbert. Hiernach spricht man in neueren Zeiten von Verkupfern, Verplatiniren rc. In jedem dieser Fälle hat man sorgfältig darauf zu achten, daß die beiden Metalle an einander haften und zu diesem Zwecke muß man alle Maßregeln nehmen, einen jeden Ueberzug von Luft, Oxyd oder jeder nicht leitenden Substanz zu vermeiden, wodurch eine Trennung der beiden Metalle herbeigeführt werden würde. Man wendet Wärme an, reibt die Platte oder wenn es möglich ist, ätzt die Oberfläche, welche den neuen Niederschlag aufnehmen soll, und wäscht das Metall nach dieser Operation gut ab; dann verbindet sich das niedergeschlagene Metall mit ihr so innig, das eine Trennung beider unmöglich wird, und eben dieses ist es, was man neben gleichförmiger Verbreitung und hinlänglicher Feinheit von den Ueberzügen edlerer Metalle über minder edle verlangt. Um den Ueberzug auf galvanischem Wege hervorzubringen, bringt man die zu überziehenden Stücke in eine geeignete Auflösung des erforderlichen Metalls, verbindet diese leitend mit der Elektrode des positiven Metalls der einfachen Säule, am besten der von constanter Wirkung und läßt sie selbst das negative Element dieser Säule bilden. Wir wollen nun die Vergoldung, Versilberung rc. nach einander näher besprechen.

1) Vergoldung. Obschon Brugnatelli im Jahre 1803, bald nach Erfindung der galvanischen Säule vermittelst des elektrischen Stomes vergoldete, wozu er sich einer Lösung von Ammoniakgold bediente, so war es doch nach dem Bekanntwerden der Galvanoplastik zuerst de la Rive *), der eine geeignete

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XIII. p. 398.

Lösung und ein angemessenes Verfahren zu einer dauerhaften Vergoldung auffand. Gleichzeitig machte aber auch Böttger *) sein Verfahren bekannt. Man nimmt auf 250 bis 300 Th. Wasser 1 Th. trocknes und möglichst säurefreies Chlorgold. In dieser Lösung bleibt der zu vergoldende Gegenstand (Silber, Messing, Stahl) längstens 1 Minute liegen; alsdann wird er herausgenommen, gewaschen und mit einem Läppchen von Leinwand schnell unter ziemlich starkem Reiben getrocknet. Diese Operation wiederholt man so oft als es die beabsichtigte Stärke der Vergoldung erfordert. Als galvanischer Apparat läßt sich hierbei der oben beschriebene von Böttger verwenden. Elsner **) machte darauf aufmerksam, daß man die Goldsolution stark verdünnen und mit kohlensaurem Natron neutralisiren müsse, wenn sie auf Lackmus sauer reagire, und daß durch Salzsäure von ihrem blauen Ueberzuge befreite Stahlfedern, eben wie Kupfer einen Goldüberzug auch ohne Einwirkung des galvanischen Stromes annehmen. Walker ***) benutzte zur Vergoldung irgend eine elektrische Kette von constanter Wirkung (ein Verfahren, das jetzt allgemein als das beste und zweckdienlichste angenommen ist) und verband dieselbe mit einem abgesonderten Gefäße, worin sich eine Lösung von Cyangoldkalium befand. In die letztere tauchte der zu vergoldende Gegenstand, welcher mit der vom Zink ausgehenden Elektrode in leitender Verbindung stand, während die vom Kupfer ausgehende mit einer Goldplatte, von der sich eben so viel auflöste als zur Vergoldung diente, verbunden war.

Die Versuche von Elkington und Ruolz erregten vorzüglich in England und Frankreich die allgemeine Aufmerksamkeit. Ein vom Ersteren schon früher gebrauchtes und in beiden Ländern patentirtes Verfahren einer rein chemischen Vergoldung besteht darin, daß man Gold in Königswasser löst, das erhaltene Goldchlorid, mit einem sehr großen Ueberschuß einer Lösung von doppelt kohlensaurem Kali vermischt, einige Zeit damit kocht und die zu vergoldenden Gegenstände von Messing, Bronce- oder Kupfer in die noch siedende Flüssigkeit taucht. Die Vergoldung sitzt vollkommen fest, hat aber nicht die Dicke der durch Quecksilber erhaltenen. Zur Vergoldung auf galvanischem Wege nimmt man nach Elkington 31,25 Grmm. in Oxyd verwandeltes Gold, setzt 5 Hectogramme Cyankalium und 4 Liter Wasser hinzu, und kocht das Ganze eine halbe Stunde. In diese Flüssigkeit, die heiß besser als kalt vergoldet, leitet man die Elektroden einer Kette von constanter Wirkung, und setzt den zu vergoldenden Gegenstand mit dem negativen Pole in Verbindung. Nach einem Gutachten von Dumas kann man mittelst dieses Verfahrens zu beliebiger Dicke vergolden, doch sei das Cyankalium theuer, als Auflösung schwer aufzubewahren und daher die Vergoldung vielleicht kostbarer als die mit Quecksilber. Sehr bald darauf nahm Ruolz ein Patent auf seine Methode, die sich nicht blos auf die Vergoldung, sondern auch auf andere metallische Ueberzüge erstreckt. Auch er brachte eine beliebige Volta'sche Kette in Anwendung und verband den zu überziehenden Gegenstand mit dem negativen Pole. Als Lösungen dienten:

---

*) Neuere Beiträge für Phys. u. Chem. S. 97.

**) Journ. für prakt. Chemie. Bd. XXIII. S. 148.

***) Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. XIX. p. 328.

1) Goldcyanid in einfachem Cyankalium gelöst.
2) Goldcyanid in gelbem Cyaneisenkalium gelöst.
3) Goldcyanid in rothem Cyaneisenkalium gelöst.
4) Goldchlorid in denselben Cyaniden.
5) Goldchloridkalium in Cyankalium.
6) Goldchloridkalium in Natron.
7) Schwefelgold in neutralem Schwefelkalium gelöst.

Von diesen Lösungen sind 5,6 und 7, namentlich die letzte am besten; man kann damit Platin, Silber, Kupfer, Packfong, Stahl, Eisen und Zinn, (letzteres wenn es mit Kupfer dünn überzogen ist) bis zu beliebiger Dicke vergolden *).

Für alle Fälle auf galvanischem Wege zu vergolden ist die Auflösung des Cyangoldkalium immer noch die bequemste; sie wird kaum durch ein anderes Metall ersetzt. Die Darstellung derselben wird von Smee **) auf folgende Arten angegeben. Schon wenn man ein Stück Gold in einer Auflösung von Cyankalium aufhängt, bildet es sich, aber langsam; rascher geht die Bildung von statten, wenn man das Gold zum positiven Pol einer galvanischen Kette macht. Viel bequemer, wenigstens für den Proceß im Großen ist aber der Weg, daß man das Oxyd von Gold etwa eine halbe Stunde in einer Auflösung von Cyankalium kochen läßt; die von dem etwa ungelösten Goldoxyde abgegossene Flüssigkeit ist gleich zum Gebrauch fertig; ist etwas Goldoxyd ungelöst geblieben, so kann man dasselbe mit einer neuen Portion von Cyankaliumauflösung kochen. Von diesen drei Methoden ist für die meisten Fälle, wo man die Lösung nicht in ganz großen Quantitäten darstellen will, der zweiten unbedenklich der Vorzug zu geben; denn wenn man eine starke Batterie anwendet ist eine große Quantität Salz in wenigen Minuten dargestellt, und man braucht hierbei nur das Metall selbst, nicht dessen Oxyd, was allein schon mehr Zeit Mühe und Kosten nöthig macht, als welche bei der elektrometallurgischen Weise im Ganzen erforderlich sind.

Für den vorliegenden Zweck ist eine starke Auflösung des Salzes vorzuziehen, und wegen der zerstörenden Eigenschaften des Cyankaliums (und der Kostbarkeit des Goldes) ist es am besten die Flüssigkeit in einem Glasgefäß anzuwenden. Zum Vergolden wäre es nicht praktisch irgend ein anderes Verfahren einzuschlagen als den Gebrauch der Batterie, und zwar wird eine einzellige Batterie wohl in allen Fällen genügen, wo die Zeit nicht in Betracht kommt. Die Größe der Batterie braucht über die Größe des zu vergoldenden Gegenstandes nicht hinauszugehen. Jeder Theil des Objects auf welchem wir keinen Goldüberzug wünschen, muß mit Wachs, Talg oder sonst einer nicht leitenden Substanz bedeckt werden, worauf die Goldablagerung nicht erfolgt.

Der Zustand der Oberfläche des reducirten Goldes variirt nach der Schnelligkeit des Processes, im Verhältniß zur Stärke der Metallauflösung; war es sehr langsam reducirt, so nimmt es das schöne thauige Ansehn von Muschelgold an. Wenn es rascher niedergeschlagen wird, wird die Oberfläche anfangen braun zu werden, und rascher darf der Arbeiter seinen Proceß nicht vor sich gehen lassen,

---

*) S. Dumas in Compt. rend. T. XIII. p. 998. Poggend. Ann. Bd. LV. S. 160. Gehler's Phys. Wörterbuch. Bd. XI. S. 239.

**) Elektrometallurgie. S. 222.

denn dann beginnt der schwammige, pulverige Absatz. Die Vergoldung wird nicht blos des äußeren Ansehens der Gegenstände und der Schönheit wegen ausgeführt, sondern auch des Nutzens wegen; denn bisweilen werden Metalle auch vergoldet, weil das Goldhäutchen gegen Angriffe zunächst der Luft und der Feuchtigkeit schützt: so die Spiralfedern in den Chronometern. Man könnte wohl auch in der Kupferstecherkunst Anwendung von der galvanischen Vergoldung machen, indem man die Platten statt mit Aetzgrund mit einer dünnen Lage Gold überzöge, so daß die Salpetersäure nur eben die Stelle ätzen könnte wo der Grabstichel das Gold durchschnitten hat. Die nothwendigerweise überall gleiche Stärke der Goldschicht könnte nur auf galvanoplastischem Wege hergestellt werden. Doch bringt das Verfahren den Uebelstand mit sich, daß der Glanz der Goldfläche den Augen nicht unbeträchtlichen Schaden zufügen möchte.

Abklatsche und Objecte von Zinn, Blei und Composition beider sind schwierig auf dem nämlichen Wege zu vergolden, weil ihre Oberflächen, wenn sie auch noch so fein geputzt worden wären, sich gar bald mit einem natürlichen Cyanide überziehen, welches das Anhaften des Goldes verhindert. Für diesen Fall wäre es vielleicht zweckmäßig die Oberfläche zuerst mit einem äußerst dünnen Ueberzuge von Kupfer zu versehen, indem man die Gegenstände in eine Auflösung von Grünspan in Essig taucht. Wenn ein Gegenstand vergoldet ist, wird er gewöhnlich gefärbt, wie dies auch nach der Vergoldung im Feuer geschieht.

Smee *) machte die Beobachtung, daß die Auflösung bisweilen in einen ganz unthätigen Zustand übergeht, anscheinend ohne alle Ursache. Derselbe meint, das dies seinen Grund in einer Absorption von Sauerstoff habe, der entweder aus der Luft oder vom positiven Pole im Zersetzungsgefäße herrühre. Um dies so viel als möglich zu vermeiden muß man die Auflösung, wenn sie nicht gebraucht wird, sorgfältig vor dem Luftzutritt bewahren. Smee bemerkt auch **), daß Vergoldung auf galvanischem Wege im Allgemeinen auf nicht leitende Substanzen nicht anwendbar zu sein scheine, denn es gelang ihm nicht Gold auf eine größere Fläche niederzuschlagen, obgleich es eine kleine Strecke weit über Siegellack, das mit Graphit überzogen war, hinwuchs. Vielleicht ist es möglich, wenn man sehr starke Goldauflösungen anwendet, größere Flächen auf diese Weise zu vergolden.

2) Verplatinirung. Dieser Proceß ist schwieriger als der der Vergoldung. Nach Böttger ***) sind nur Silber, Messing und Kupfer dazu geeignet. Man wendet zum Verplatiniren eine Chorplatinsolution an, die mit 250 bis 300 Theilen Wasser verdünnt ist und verfährt ganz auf die Weise wie bei der Vergoldung. Besser ist nach Smee's ****) Angabe eine Auflösung von gewöhnlichem Platinchlorid, welches durch eine hinreichende Menge von Natron neutralisirt ist. Das zu verplatinirende Object muß glatt und vor dem Processe durchaus mit Aetzkali gereinigt sein. In die Platinauflösung wird ein feiner Platindraht, der mit dem positiven Pole einer zusammengesetzten Batterie in Verbindung steht, eben eingetaucht, aber durchaus nicht in die Tiefe eingesenkt. Der zu verplatinirende Gegen=

---

*) Elektrometallurgie. S. 293.
**) Elektrometallurgie. S. 298.
***) Neuere Beiträge für Physik. u. Chem. S. 99.
****) Elektrometallurgie. S. 298.

stand wird nun mit dem Zink in Verbindung gesetzt. Nachdem dies geschehen, taucht man ihn in die Platinauflösung, und in etwa fünf Minuten ist derselbe mit Platin überzogen. Böttger gebrauchte bei der Verplatinirung, namentlich des Kupfers, mit vielem Vortheil Natriumplatinchlorid; die Kupferplatte wird auf der zu verplatinirenden Seite mit sehr verdünnter Salzsäure und sehr feinem Sande oder mit Kreide sehr rein geputzt, auf der anderen mit Wachs überzogen, nachdem daselbst vorher mit Zinn ein dünner Metalldraht zur Herstellung der Leitung angelöthet war. Die Flüssigkeit wurde erhalten durch Lösung gleicher Theile trockenen Chlorplatins und reinen Kochsalzes in einer zureichenden Wassermenge. Ruolz*) bereitet Kaliumplatinchlorid aus rohem Platin, weil die diesem beigemischten Metalle ohne Nachtheil sind und löst dieses in Aetzkalilauge auf.

Nach Kayser**) löst man Platin in Königswasser, tröpfelt diese Flüssigkeit in kleinen Quantitäten in siedend heiße Aetzkalilösung von 8° Beaumé, schüttelt, bis die gelbe Trübung verschwindet und setzt dieses so lange fort, als das Verschwinden der Trübung erfolgt. Diese Platinlösung wird während der Operation warm erhalten und liefert dann durch Einwirkung des elektrischen Stromes, nach der beim Vergolden anzuwendenden Methode, einen dauerhaften Ueberzug, den man, damit er chemischen Einflüssen widerstehe, mit dem Polirstahle glätten muß. Beiläufig sei hier noch bemerkt, daß sich Kupfer, mit einem Platinüberzug versehen, sehr gut vergolden läßt.

Den Proceß des Verplatinirens darf man nicht mit dem verwechseln, bei welchem negative Metalle für die Smee'sche Batterie vorbereitet werden, denn im ersteren Falle wird das Platin mit der Farbe und dem Ansehen des Platins, aber im letzteren als schwarzes Pulver präcipitirt. Den ersten könnte man das Verplatinen nennen, den anderen Platinisiren. Um Metalle zu platinisiren, braucht man einen starken Strom, um eben das Platin als schwarzes Pulver zu erhalten, zur Verplatinung kann man Auflösungen von jeder Stärke, aber viel mäßigere Ströme anwenden.

Galvanisch mit Platin überzogene Metalle wiederstehen gewöhnlich der Einwirkung von Salpetersäure nicht, weil doch gewöhnlich einige feine Risse oder Fleckchen unbedeckt bleiben und die Salpetersäure hier eingreift und das Platin in dünnen Schuppen ablöst.

Um Gegenstände mit Palladium zu überziehen befolgt man Methoden, welche denen, die man für das Platin anwendet, in allen Hinsichten gleich sind. Man gebraucht das Chlorpalladiumammoniak in Ammoniakflüssigkeit gelöst oder das Cyanpalladium, mit Anwendung eines positiven Palladiumpoles. Palladium hängt nach Smee's Beobachtung mit solcher Festigkeit am Kupfer, wenn es durch die Volta'sche Elektricität reducirt war, daß es fast unmöglich ist, es mechanisch davon zu entfernen.

3) Versilberung. Es giebt wohl keinen Proceß, der sich leichter ausführen ließe, als die galvanische Versilberung. Am wenigstens geeignet und am langsamsten zum Ziele führend ist vielleicht die Methode von Böttger***).

---

*) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 165.
**) Baierisches Kunst- und Gewerbeblatt 1842. Mai.
***) A. a. O.

Die Versilberung des Kupfers und Messings geschieht nach Böttger, wenn man drei Drachmen pulverisirtes salpetersaures Silberoxyd in zwei Unzen Ammoniakflüssigkeit auflöst, die zu versilbernden Gegenstände aber beim ersten Eintauchen in die Salzlösung nie länger als eine Secunde darin verweilen läßt, dann abtrocknet und das Eintauchen so oft wiederholt, bis der Ueberzug dick genug ist, ähnlich wie beim Vergolden und mit Anwendung des nämlichen Apparats. Von Ruolz *) wird dazu Cyansilber in Cyankalium gelöst angewendet. Er bereitet die Lösung indem er 1 Gramm Cyansilber mit 10 Grammen gelbem Cyankalium in 100 Grammen destillirtem Wasser löst. Das Silber läßt sich auf Messing, Bronze, Kupfer, Zinn, Eisen, Stahl und zu Verzierungen auf Platin und Gold auftragen und haftet so fest, daß eine versilberte Messingplatte der Wirkung des schmelzenden Aetzkali widersteht.

Smee **) bereitet das Cyansilberkalium, was er anwendet, entweder durch Kochen von Silberoxyd mit einer starken Auflösung von Cyankalium, oder wie bei der Goldlösung durch den Batterieproceß. Die Auflösung wird zum Gebrauche in ein Glasgefäß ausgegossen und als positiver Pol eine Silberplatte angewendet, die etwa den nämlichen Umfang wie der zu versilbernde Gegenstand hat. Letzterer muß ganz rein sein, damit die vollkommenste Anhaftung zwischen der zu versilbernden Fläche und dem reducirten Metalle stattfinde. Das Silber wird nach Umständen in etwas verschiedenen Zuständen präcipitirt. Wird es langsam niedergeschlagen, so nimmt es ein sehr schönes mattes Ansehen an; erfolgt der Absatz rascher, so wird es glänzender niederfallen. Es ist vielleicht das Beste die Auflösung so stark als möglich anzuwenden, und dabei Sorge zu tragen, daß die Auflösung gelegentlich umgerührt wird, um die gehörige Vertheilung des Metallsalzes zu bewirken. Ein wenig freies Cyankalium, was man der Auflösung zusetzt, beschleunigt den Proceß, indem die Auflösung des positiven Pols vermehrt wird. Die Menge des reducirten Metalls kann leicht bestimmt werden, indem man entweder die Gewichtszunahme des Körpers, auf welchen der Niederschlag erfolgt ist, bestimmt, oder die Gewichtsabnahme des positiven Pols ermittelt.

Kaiser ***) nimmt salpetersaure Silbersolution, setzt zu einem Gewichtstheile derselben 5 Gewichtstheile in Wasser gelöstes Cyankalium, 5 Theile Pottasche, 2 Th. Kochsalzlösung, 5 Th. Salmiakgeist und 50 Th. Wasser, und kocht das ganze eine halbe bis drei Viertelstunden. Man kann diese Solution noch beliebig verdünnen, denn obgleich die Versilberung dadurch langsamer erfolgt, so wird sie dafür schöner. Die kalt gewordene klare, etwas hellgelbe Flüssigkeit wird von dem röthlichen Bodensatze abgegossen und in einem geeigneten Glase aufbewahrt. Die zu versilbernden Gegenstände müssen vorher mit Kreide und Weingeist geputzt, stählerne polirte in verdünnte Säure getaucht werden. Zum galvanischen Apparate wählt man auch hier am besten und ökonomischsten die Batterie mit getrenntem Präcipitationstroge. Kayser empfiehlt ein porzellanenes Gefäß von geeigneter Tiefe, auf dessen Boden auf Glasstücken mehrere Stücke Zink liegen, die auch durch ein über dem Boden befestigtes Gitter von Zinkstäben ersetzt werden

---

*) A. a. O.
**) Elektrometallurgie. S. 301.
***) Baierisches Kunst- und Gewerbeblatt 1842. Mai.

können. Die Gegenstände werden so auf dieses Zink gelegt, daß sie dasselbe wenigstens an einer Stelle metallisch berühren. Die Solution wird darüber gegossen und eine Weingeistlampe unter das Gefäß gestellt. In 30 Secunden ist schon ein Ueberzug gebildet, der nach 2 bis 3 Minuten schon die hinlängliche Dicke hat, die durch längeres Liegen noch zunimmt; man wäscht die Stücke in Weinsteinwasser und polirt die Stellen, die blank werden sollen, mit Leder und Kreide und mit dem Polirstahle.

Smee *) giebt eine interessante Notiz über die Wirkung des Schwefelkohlenstoffs bei der galvanoplastischen Versilberung. Man hat nämlich zufällig entdeckt, daß ein Paar Tropfen Schwefelkohlenstoff zur Silberlösung (Cyansilberkalium) gesetzt einen besonderen Einfluß auf dieselbe ausüben. Das Metall wird anstatt mit einem matten Ansehen niedergeschlagen zu werden, so hellglänzend präcipitirt als wäre es polirt. Die Entdeckung dieser Thatsache ist für den Fabrikanten höchst wichtig, in sofern als er eine Masse Arbeit, die das Poliren und Glätten verlangt, ersparen kann. Dies Verfahren ist in England patentirt und wird allgemein in Birmingham angewendet.

Von den Metallen läßt sich vorzüglich das Blei sehr schlecht versilbern. Es wird wohl bedeckt, aber die beiden Metalle haften im Allgemeinen nicht so fest an einander, weil das Blei, wenn man es auch vollkommen reinigt, immer zum Theil von einem unlöslichen Cyanid bedeckt wird, so wie man es nur in die Auflösung eintaucht. Vielleicht ist das beste Mittel diesen Uebelstand zu beseitigen, daß man dem Objecte erst einen dünnen Ueberzug von Kupfer giebt, indem man dasselbe in eine Auflösung von essigsaurem Kupfer eintaucht oder mit einer Auflösung von salpetersaurem Palladium oder Silber überstreicht.

Nichtleitende Körper können versilbert werden, wenn man sie erst mit Graphit überzieht und dann das Silber darauf niederschlägt. Doch wäre es im Allgemeinen vorzuziehen, das Object erst mit Kupfer zu überziehen und dann erst das Silber darauf niederzuschlagen.

4) Vernickelung. Nickel ist ein Metall, das von einigen Chemikern noch zu den sogenannten edlen gerechnet wird. Diese Classification ist aber wohl etwas veraltet. Es könnte aber doch für Manchen von Interesse sein dieses Metall galvanoplastisch darzustellen. Es können Metalle damit überzogen werden, und es wird nach Methoden, wie sie früher beschrieben worden sind, niedergeschlagen. Von den etwa anzuwendenden Salzen dürfte Nickelchlorid das beste sein. Nach Smee's Angabe hat das so abgesetzte Nickel einen eigenthümlichen weißen Glanz, fast so wie Glas und nimmt sich also sehr schön aus, ist aber spröd, wenn es vom negativen Pole abgenommen wird. Das eben beschriebene Nickel weicht von dem künstlichen so bedeutend ab, daß Niemand eine Aehnlichkeit oder gar Gleichheit finden könnte. Die einfache Batterie ist vorzuziehen.

5) Verkupferung. Verschiedene Substanzen, sowohl metallische als nichtmetallische können durch die Wirkung des elektrischen Stromes mit Kupfer überdeckt werden. Ruolz **) gebrauchte hierzu Cyankupfer in Cyankalium oder Cyannatrium gelöst, das jedoch eine stärkere Säule erfordert und weniger Sicher-

---

*) Elektrometallurgie. S. 234.

**) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 163. Gehler's Wörterb. Bd. XI. S. 244.

heit im Erfolg darbietet. Smee *) bediente sich einer mit Schwefelsäure angesäuerten Auflösung von Kupfervitriol. Diese Auflösung paßt sehr wohl, um einen glatten Absatz von Metall zu bewirken; soll der Ueberzug krystallinisch werden, so braucht man nur wenig Säure. Das Ueberziehen nichtleitender Körper mit Kupfer kann in zwei Abtheilungen gebracht werden; die erste enthält solche Körper, auf welche das Kupfer genau in der Form des Originals abgesetzt werden soll, die letzteren die Fälle, wo man den Niederschlag in krystallinischem Zustande wünscht. Eine etwas verschiedene Anordnung ist in jedem Falle erforderlich; denn im ersten muß Batterie und Auflösung so abgemessen sein, daß der Wasserstoff nahe daran ist, entwickelt zu werden; im zweiten kann die Auflösung stärker sein und die Quantität der Elektricität durch Vergrößerung des Umfanges der Batterie vermehrt werden, so wie durch Vergrößerung der Oberfläche des positiven Poles der Batterie im Zersetzungsraume. Zu der ersten Abtheilung gehören Körper mit feinen Zeichnungen ꝛc., wie Medaillen, architektonische Verzierungen, kleine Statuetten und dergleichen mehr. Sind die Gegenstände von Gyps, so muß die Absorptionsfähigkeit desselben vollständig durch Oel oder Wachs vernichtet sein; sonst dringt etwas Metallauflösung in die Poren, das Metallsalz krystallisirt daselbst und stößt den Kupferüberzug ab. In der jetzigen Zeit, wo man Gutta Percha zu Hülfe genommen hat, werden schon Gegenstände daraus, wie Tintenfässer u. dergl. m. mit Kupfer überzogen zum Verkauf ausgeboten. Chemiker haben bisweilen ihre Retorten und andere Glasgefäße durch einen Kupferüberzug zu schützen versucht. Zu diesem Zweck werden die Glasgeräthschaften gefirnißt und mit unächtem Gold oder mit Graphit eingerieben. Ein solches Gefäß wird mit dem negativen Pol der Batterie leitend verbunden und mit einem großen positiven Pol von Kupfer umgeben, worauf nach einer gewissen Zeit ein hinreichender Absatz von Kupfer erfolgt sein wird.

Smee **) giebt eine nette Anwendung der Kunst zu verkupfern an, die z. B. denen, die Gärtnerei treiben, erwünscht sein wird. Man kann nämlich Früchte, Blätter, Körner und andere Pflanzentheile oder ganze Pflanzen mit Kupfer überziehen, sei es blos zur Zierde oder um die Größe, die Form und andere Eigenthümlichkeiten des Gegenstandes besser hervorzuheben. Aepfel und Birnen können leicht verkupfert werden; man überzieht sie nur mit Graphit und sticht dann eine feine Stecknadel am Stiele ein, mittelst dieser Stecknadel wird der Gegenstand durch einen Draht mit dem Zink der Kette verbunden. In gleicher Weise können Gurken, Kürbisse, Kartoffeln, Carotten und viele andere Pflanzen, Samen und Wurzeln mit Kupfer überzogen werden.

Zu Verzierungsgegenständen sieht ein krystallinischer Ueberzug am schönsten aus, aber wenn die Form hervorgehoben werden soll, muß man das Kupfer glatt niederschlagen. Nachdem die Gegenstände vollständig überzogen sind, wird die Stecknadel herausgezogen, welche ein kleines Loch läßt, wodurch die Pflanzensäfte frei verdampfen können. Das eingeschlossene Object kann auf diese Weise vollständig eintrocknen, so daß z. B. die kupferne Hülle von saftigen Früchten zuletzt gar nichts mehr zu enthalten scheint. Der Ueberzug kann so genau gemacht werden,

*) Elektrometallurgie. S. 306.
**) Elektrometallurgie. S. 309.

daß die zahlreichen Haare auf Blättern von Melostoma und selbst die feinen Härchen auf Salbeiblättern alle vollkommen verkupfert erscheinen. Einen sehr schönen Effect macht ein krystallinischer Kupferüberzug über Flechtwerk, wie Körbe und dergleichen mehr, und es werden solche Sachen vielleicht noch einmal geschätzte Luxusartikel werden. Einen gigantischen Versuch den galvanoplastischen Kupferüberzug praktisch nutzbar zu machen, erwähnt Smee *). Ein angesehener praktischer Chemiker in Portsmuth, Herr Hays, machte nämlich den Versuch, den Boden eines Fahrzeugs und zwar eines Kriegsschiffs ersten Ranges galvanoplastisch zu verkupfern. Derselbe bedeckte den Boden des Schiffs zuerst mit Pech, überzog ihn dann mit Graphit und brachte nun Drähte an zur Verbindung des Graphits mit dem negativen Pol einer sehr großen Batterie. Das Schiff ward nun mit Ballast beladen bis es in einer mit Schwefelsäure angesäuerten Auflösung von Kupfervitriol so tief einsank, als der Kupferbeschlag gehen sollte. Ein großer positiver Pol, aus Kupferblechen zusammengesetzt, stand dem Graphit gegenüber.

6) Verzinnung. Die galvanische Verzinnung ist ein Proceß der wohl selten angewendet wird. Böttger und später Ruolz benutzten eine Auflösung von Zinnoxyd in Kalilauge, besonders um Eisen und Zink zu überziehen **). Smee ***) empfiehlt als das geeignetste eine Auflösung von schwefelsaurem Zinn. Es giebt noch einen Proceß der schon lange vorher, ehe man wußte, er sei ein galvanischer, zum Verzinnen der Stecknadeln angewendet wurde. Die Nadler werfen die zu verzinnenden Stecknadeln mit Zinkgranalien in ein Gefäß und gießen eine Auflösung von Weinstein, Kochsalz, Alaun und ein wenig Zinnchlorür (sogenanntes Zinnsalz) darüber; in wenig Secunden sind die Nadeln mit einem weißen glatten Zinnüberzuge versehen. Ich habe gefunden, daß diese Auflösung auch bei Anwendung der Batterie und eines positiven Zinnpoles brauchbar ist und bessere und schnellere Resultate giebt als die anderen. Nachdem man die verzinnten Gegenstände aus der Lösung genommen und in Wasser abgespült, muß man sie mit einem weichen Leinwandläppchen reiben um sie blank zu machen.

7) Verbleiung wird wohl noch weniger angewendet werden als Verzinnung. Smee ****) schlägt dazu eine Lösung von basisch salpetersaurem Blei vor. Ruolz †) wendet Bleioxyd in Aetzkali gelöst an.

8) Verzinkung. Dieser Proceß ist ziemlich leicht. Ruolz giebt das von ihm befolgte Verfahren nicht an. Nach Poggendorff's ††) Meinung wird dazu eine Auflösung von Zinkoxyd in Kalilauge oder mit Kalilauge im Ueberschuß versetzte Auflösung von schwefelsaurem Zinkoxyd verwandt. Smee †††) schlägt gut neutral gehaltenes schwefelsaures Zinkoxyd vor. Ich habe aus schwefelsaurem Zinkoxyd-Ammoniak sowohl Ueberzüge als Platten von Zink leicht dargestellt. Dabei bemerkte ich an dem auf diese Weise dargestellten Zink, daß es die

---

*) Elektrometallurgie. S. 312.
**) Gehler's Wörterb. Bd. XI. S. 244.
***) Elektrometallurgie. S. 314.
****) Elektrometallurgie. S. 314.
†) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 163.
††) Poggend. Ann. Bd. LV. S. 166.
†††) Elektrometallurgie. S. 314.

merkwürdige Eigenschaft besaß, in der galvanischen Spannungsreihe weit positiver zu sein als destillirtes Zink, ja selbst als amalgamirtes Zink, bei Anwendung von destillirtem Wasser oder verdünnten Säuren als elektrischer Flüssigkeit.

Das Material, was unter dem Namen galvanisirtes Eisen verkauft wird, ist nicht etwa Eisen durch den Galvanismus überzogen. Der Galvanismus hat wirklich nichts damit zu thun. Das Eisen wird durch Säure und auf andere Weise so vollständig als möglich gereinigt und dann in ein Bad von schmelzenden Zink getaucht, und darin hin und her bewegt, bis alle Theile vollständig überzogen sind. Es giebt noch ein anderes sogenanntes „galvanisirtes" oder verzinntes Eisen, welches zuerst ganz nach der beschriebenen Weise verzinkt, und dann noch in schmelzendes Zinn gebracht wird. Man sieht ein, daß der Name „galvanisirt" für beide Fälle höchst unpassend ist.

Man könnte noch mehrere andere Metalle als Ueberzüge auf leitende Oberflächen niederschlagen, wie Kobalt, Antimon, Wismuth, Kadmium u. a. m., wenn diese Processe nicht vollkommen zwecklos und unnütz wären. Ich will nur erwähnen, daß ich einen augenblicklichen und glänzenden Antimonüberzug erhielt, bei Anwendung einer Auflösung von Schwefelantimon in Schwefelammonium.

Eben so kann man Ueberzüge von Eisen herstellen bei Anwendung von Ammoniumeisenchlorür, die zwar anfänglich sehr blank sind aber bald mißfarbig werden und anlaufen.

Alle bisher erwähnten Operationen wurden am negativen Pole der Batterie ausgeführt, aber auch am positiven Pole finden gewisse Wirkungen statt, von welchen man in den Künsten Anwendung machen kann. Während sich nämlich am negativen Pole Metall ablagert, so findet am positiven Pole eine äquivalente Auflösung statt. Auf diese Erscheinung gründet sich ein Zweig der Galvanoplastik nämlich die durch Osann *) erfundene Galvanokaustik oder die Kunst auf galvanischem Wege zu ätzen, die nach folgendem Verfahren ausgeübt wird. Der Strom einer einfachen Volta'schen Säule löst, wie man weiß, eine in Kupfervitriollösung aufgehängte Platte auf, und stellt dieses Metall, sobald es zu einer zweiten ersterer parallelen, leitenden und mit dem anderen Pol verbundenen Platte übergeführt ist, daselbst metallisch wieder her. Ist daher die erste Platte an einigen Stellen mit einem Ueberzuge bedeckt, auf welchen die Kupfervitriollösung nicht wirkt, so werden nicht diese, wohl aber die übrigen Stellen aufgelöst und hierdurch muß nothwendig eine Figur erzeugt werden. Es ist dies offenbar von außerordentlicher Wichtigkeit für die Kupferstecher bei ihrem Aetzen.

Das Aetzen mit Hülfe des galvanischen Sromes ist eine viel gewissere Operation, als das gewöhnliche mit Salpetersäure, wegen des ungleichmäßigen Eingreifens der Säure, welches seinen Grund in der verschiedenen und unreinen chemischen Beschaffenheit der Oberfläche der Kupferplatten hat. Die Platte wird vom Anfange ganz in der nämlichen Weise wie beim gewöhnlichen Aetzen behandelt, mit Aetzgrund überzogen und die Zeichnung in denselben eingerissen. Die hintere Seite und die Kanten der Platte werden dann mit Wachs überzogen, und durch einen Draht mit dem positiven Pole einer galvanischen Batterie von 1 bis 2 Elementen verbunden.

---

*) Die Anwendnng des hydroelektrischen Stromes als Aetzmittel von Dr. G. W. Osann rc. Würzburg 1842. 8. Gehler's Wörterb. Bd. XI. S. 235.

Die zu ätzenden Metallplatten können auch gleichzeitig auf zwei Seiten geätzt werden, dann müssen ihnen aber zwei gleich große Platten als negative Pole in geringem Abstande parallel gegenüberstehen. Als Firniß oder Aetzgrund kann eine Mischung aus zusammengeriebenem Kienruß, venetianischem Terpentin und Terpentinöl dienen. Will man Zinnplatten ätzen, so kann man sich nicht des Kupfervitriols bedienen, sondern man nimmt eine Auflösung von Zinnchlorür in Wasser als geeignetstes Aetzmittel.

Die Vortheile des Aetzens durch Galvanismus sind außer der schon erwähnten größeren Gleichmäßigkeit noch vielfältige: zuerst giebt es keine giftigen salpetersauren Dämpfe, dann hat man eine größere Schnelligkeit des Aetzens; die Linien lassen sich von jeder Tiefe herstellen und sind schärfer und reiner als beim Gebrauch der Säure; und endlich werden keine Gasblasen entwickelt, von welchen der Kupferstecher gar wohl weiß, daß sie den Aetzgrund aufreißen und eine ungleichmäßige Wirkung verursachen.

Dem Proceß, welchen Grove zur Copirung der Lichtbilder anwendet, liegt auch ein Aetzen der Daguerre'schen Platte zu Grunde; der ganze Vorgang ist schon weiter oben beschrieben.

Es bleibt noch einiges über das sogenannte Aetzen außerhalb der Flüssigkeit oder das trockne Aetzen zu sagen*). Es ist bekannt, daß wenn die Verbindungsdrähte einer Batterie zusammenkommen, ein Funken entstehen kann und Portionen des Stücks, welches mit dem einen Pol in Verbindung ist, zu dem mit dem anderen Pol communicirenden Metalle übergeführt werden. Von dieser Thatsache hat Dr. Priny zuerst eine praktische Anwendung zur Aetzung des härtesten Stahles gemacht. Der Genannte befestigt die zu gravirende Platte in einen kleinen Schraubstock, wie ihn die Uhrmacher gebrauchen (in einen Stielkloben), und verbindet dieselbe mit einer Batterie von 6 mäßig großen Elementen. In den Schließungskreis wird eine lange Drahtrolle eingeschaltet, um durch die Inductionsströme die Funken zu verstärken. An den anderen Pol der Batterie wird ein Draht von Platin oder Gold befestigt und mit einem Handgriffe versehen. Wenn dieser Draht mit der Stahlplatte in Berührung kommt, so wird eine Portion der letzteren abgelöst und auf das ätzende Werkzeug übergeführt, und so kann durch die elektrische Kraft eine vollkommene Zeichnung auf dem härtesten Stahl ausgeführt werden. Dies geschieht, wenn der Golddraht mit dem positiven Pole verbunden ist. Wenn die Platte und der Grabstichel in umgekehrter Ordnung mit der Batterie verbunden werden, dann wird etwas vom Drahte (der im ersten Falle wie ein Grabstichel wirkte) weggeführt, und eine goldene oder platinene Zeichnung hervorgebracht, aber ein gutes Resultat kann hier nur stattfinden, wenn der reinste Stahl angewandt wird; der Stahl rings um diesen Absatz wird fortgeführt und verbrannt.

Man kann diese Art zu ätzen von der galvanischen wohl unterscheiden. Bei der letzteren wird die Volta'sche Kraft durch die chemische Verwandschaft unterstützt und das Metall aufgelöst, bei der ersteren wird die Aggregation der Theilchen des Metalls verändert und Theile werden mechanisch fortgeführt. In beiden Fällen wird also die Cohäsion der Metalle aufgehoben und verändert.

*) Smee, Elektromellurgie. S. 404. Priny. on etching steel plates. Phil. Mag. T. XXIII.

Die Literatur über diesen Gegenstand ist sehr umfassend. Nachstehend ist das Hauptsächlichste angeführt.

Eigentliche Galvanoplastik.

1839. Jacobi, Method of producing copies of engravings; Philos. Mag. XV. 161; Bibl. univ. XXXIII. 416; L'Institut. VII. 383; Bull. d. St. Petersb. IX. 246.

Spencer, Reproduction of medals. L. J. of arts Dec. 1839; Bull. de la soc. d'encour. 1840. 113; Dingler's polyt. Journ. LXXIV. 309.

Sturgeon, on the use of voltaic electricity. Ann. of Electr. IV. 279.

1840. Jacobi, die Galvanoplastik oder das Verfahren Kupfer in Platten oder nach sonst gegebenen Formen unmittelbar aus Kupferauflösungen auf galvanischem Wege zu produciren. Petersburg 1840 in 8.

Auszüge davon in Ann. of Electr. VII. 323. 337. 491.

Spencer, Instruments for the multiplication of works arts Mechanic. Mag. XXXII. 54.

Böttger, Construction eines einfachen Apparates, der zum Vergolden und Versilbern sowohl als zur Hervorbringung von Kupferplatten angewandt werden kann. Ann. d. Chemie und Pharmacie. August 1840. Archiv de l'Él. II. 145. pol. Arch. IV. 409.

v. Kobell, Elektrotypie. Gel. Anzeigen d. Bayr. Acad. 1840. Nr. 38. 39; Erdm. u. March. 1840. Nr. 11. 151; Biblioth. univ. XXX. 212. L'Institut. VIII. 381; Ann. of Electr. V. 197.

1841. Poggendorff, die Leistungen der Galvanoplastik. Pogg. Ann. LIV. 300.

Gerlach, Beiträge zur Galvanoplastik. Dingl. polyt. Journ. LXXXII. 128.

Spencer and Wilson, Improvement in ingraving by electricity Mech. Mag. XXXIV. 333.

Grove, Voltaic process for etching Daguerreotype plates Phil. Mag. XIX. 247; XX. 18; Arch. de l'Él. II. 457. Mech. Mag. XXXV. 223.

Spencer, Aetzung durch Galvanismus. Dingl. polyt. Journ. LXXX. 140.

Herz. von Leuchtenberg, Nouvelles expériences de galvanoplastique. L'Instit. X. 233. Bull. d. St. Petersb. VIII. 140.

Davies, Multiplication of finely divided metalic scales. Ann. of Electr. VI. 79.

Fizeau, Contreépreuve sur cuivre d'un image photographique obtenue au moyen des procédés galvanoplastiques. C. r. XII. 401. 509. 951.

1842. Pegré, Emploi de la méthode galvanoplastique à obtenir à peu de trais les limbes gradués. C. r. XIV. 73. L'Institut. X. 10. Dingl. polyt. Journ. LXXXIII. 488; Mech. Mag. XXXVI. 205; Pogg. Ann. LV. 532.

Talbot, On the multiplication of specula by electrotype Mech. Mag. XXXVII. 26.

Smee, Elements of metallurgie or the art of working in metals by galvanic fluid. London.

Lettsom, Electrotints. Phil. Mag. XXI. 62.

v. Kobell, galvanoplastische Kupferstische und Galvanographien; Kunst-

und Gewerbeblatt d. p. V. für Bayern 1842 Hft. 8 u. 9. Dingl. polyt. Journ. LXXXV. 342.

v. Kobell, die Galvanographie, oder Methode gemalte Tuschbilder durch galvanische Kupferplatten im Drucke zu vervielfältigen. München. 4.

Osann, die Anwendung des hydroelektrischen Stromes als Aetzmittel. Würzburg. 8.

1844. Jacobi, galvanische Messingreduction. Pogg. Ann LXII. 360.

v. Kobell, über die Fortschritte und den gegenwärtigen Zustand der Galvanographie. Gelehrt. Anz. d. baier. Acad. Sept. 44. Dingl. polyt. Journ. XCV. 186.

Strehlke, Eigenschaften der von Daguerre'schen Lichtbildern erhaltenen galvanischen Kupferplatten. Pogg. Ann. LX. 144.

Sindhof, über die Anfertigung galvanoplastischer Copien von Maßstäben Hann. Gewerbebl. Oct. 44. Dingl. polyt. Journ. XCVIII. 216.

1845. Marschall, Verfahren große Gypsformen zum Copiren durch Galvanoplastik zu bereiten. Dingl. polyt. Journ. XCVI. 251. Chem. gaz. April 45. No. 49.

Parkes, Phosphorauflösung und Wachscomposition für galvanoplastische Copien. Dingl. polyt. Journ. XCVIII. 411. Rep. of Pat. inv. 1845. 165.

Soyer, copie d'une plaque photographique. Bull. de la Soc. d'encourag. 1845. 83.

Steinheil, Beschreibung einer Fabrikationsmethode genauer und nicht oxydirbarer Metallspiegel. Baier. Kunst= u. Gewerbebl. 45. 757. Dingl. polyt. Journ. XCIX. 397.

1846. Theier's Galvanographie. Enc. Zeitschrift d. Gewerbewesens. 46. 275.

v. Corvin=Wierbitzki, Anweisung zur Glyphographie. Dingler's polyt. Journ. CI. 324.

Piil, die Chemitypie. Enc. Zeitschr. d. Gewerbewes. 46. 770. Hann. Gewerbezeit. 46. 26. Dingl. polyt. Journ. C. 118.

Jacobi, vorläufige Notiz über galvanoplastische Reduction mittelst einer magnetelektrischen Maschine. Bull. de l'Acad. de St. Pét. V. 318.

1847. Galvanische Löthung. Rec. de la Soc. polyt. Jan. 47 Dingl. polyt. Journ. CV. 237.

Bröfelsby, Irisirendes Silber. Sill. Journ. II. Ser. I. 112.

H. Karsten, Irisirendes Kupfer. Pogg. Ann. LXXI. 246.

1848. Galvanoplastische Verlöthung von Metallen. Polyt. Centrbl. 1848. S. 121. Galvanoplastische Verbindung von Glasröhren. Polyt. Centrbl. 1848. S. 122.

Piil, Anwendung der Chemitypie zur Herstellung unnachahmlicher Werthpapiere. Polyt. Centrbl. 1848. S. 1239. Dingler's polyt. Journ. CX. 157. Dtsche. Gewbztg. 1848. Nr. 70.

Lyons u. Millward, über die Anwendung des Schwefelkohlenstoffs in der Galvanoplastik. Polyt. Centrbl. 1848. S. 575. Dingl. polyt. Journ. CVIII. 358. Rep. of pat. inv. 1848. p. 114.

1849. Büttner, über die durch Galvanoplastik erlangten Resultate. Dingl. polyt. Journ. CXII. 48.

Knobloch, der Galvanismus in seiner technischen Anwendung seit dem Jahre 1840 ꝛc. Erlangen.

v. Hackewitz, galvanisch niedergeschlagene Figurentheile durch einen eben solchen Niederschlag zu verbinden. Dingl. polyt. Journ. CXIII. 75.

Jones, New method of electrotyping. Mech. Mag. LI. 469.

1851. Smee, Elektrometallurgie, deutsch Leipzig 1851, bei Abel.

Galvanische Vergoldung, Versilberung ꝛc.

1803. Brugnatelli, Vergoldung von Silbermünzen. Annali di Chimica. 1803, Van Mous J. de Chim. et de Ph. T. V.

1837. Elkington, Methode Kupfer ꝛc. auf nassem Wege zu vergolden. Lond. J. of arts Mai. 599. Dingl. polyt. Journ. LXV. 42.

1839. Elkington, Patent mode of Gilding by immersion. Mech. Mag. XXXI. 464.

1840. De la Rive, procédé électrochimique, ayant pour objet de dorer l'argent et le laiton C. r. X. 578. Pogg. Ann. L. 94.

1841. Dent, Application of a coating by the electrometallurgical process to steel balance springs of chronometers. Brit. Ass. 1841. 41; C. r. XII. 779. Dingl. polyt. Journ. LXXX. 399.

Dumas, Rapport sur les procédés de Mrs. Elkington et de Ruolz. C. r. XIII. 998. 1103. Pogg. Ann. LV. 160. Dingl. polyt. Journ. LXXXVIII. 125.

1842. Elsner, Untersuchungen über galvanische Vergoldung. Verh. d. Gewerbever. 1842. 208. Dingl. polyt. Journ. LXXXVIII. 30.

Perrot, Nouveau procédé de dorage. Inst. X. 84.

Böttger, Vergoldung und Verplatinirung von Kupferplatten. Ann. der Chemie u. Pharm. XXXV. 250.

De Ruolz, Précipitation du bronce C. r. XV. 280. Dingl. polyt. Journ. LXXXVI. 64.

1843. Talbot, Improvments in gilding and silvering metals. Rep. of pat. inv. Jan. 43. 47. Dingl. polyt. Journ. LXXXVI. 208.

Elsner, Auflöslichkeit des Goldes in Cyankalium und Anwendung dieser Lösung zum Vergolden. Dingl. polyt. Journ. XCI. 307.

Jévreinoff, Argenture du fer de fonte. Bull. de St. Pét. I. 159. C. W. Magnetoplating. Mech. Mag. XXXIX. 118.

1844. Becquerel, sur la coloration des metaux C. r. Mars. 44. Ann. d. Chim. et de Phys. 3me Sér. VIII. 402.

Elsner, Darstellung eines trocken bleibenden Goldsatzes zur Vergoldung. Dingl. polyt. Journ. XCII. 240.

Elkington, Application de l'électrométallurgie aux arts. Extrait. Arch. de l'Électr. IV. 515.

1845. Elsner, Verkupferung, Versilberung, Vergoldung auf nassem Wege ohne Anwendung von Cyankalium. Dingl. polyt. Journ. XCV. 445.

Stöhrer, über galvanische Versilberung und Vergoldung. Dingl. polyt. Journ. XCV. 414.

Mourrey, Anweisung zur Vergoldung und Versilberung der Gegenstände durch einfache Berührung derselben mit Zink. Dingl. polyt. Journ. XCVIII. 383. Polyt. Notbl. I. 65.

Louyet, über das Verzinken des Eisens auf galvanischem Wege. Dingl. polyt. Journ. XCV. 413. Technol. Févr. 45. 193.

Böttger, Wiedergewinnung des Goldes aus dem Rückstande der zur galvanischen Vergoldung gedienten Cyankaliumlösung. Pol. Notblatt. I. No. 2. 28. Dingl. polyt. Journ. XCIX. 78.

1846. Giorgini, Liquido atto ad inargentare anche senza l'applicatione dell' elettrico. Racc. fis. chim. I. 315.

Elsner, Herstellung einer weißen Farbe der auf galvanischem Wege versilberten Gegenstände. Verh. d. Gewerbever. 46. Pol. Notbl. I. No. 6. 95.

Casani, Relazione intorna a un metodo opportuno per conferire alle elettrodorature la maggiore consistenza ed eleganza Racc. fis. chim. I. 369.

Herzog v. Leuchtenberg, Verfahren bei Vergoldungen und Versilberungen auf galvanischem Wege, die Quantität Gold oder Silber kennen zu lernen, welche man angewendet. Bull. de la Acad. d. St. Pét. V. 28. Dingl. polyt. Journ. XCIX. 140. C. 491.

1847. Elsner, Verkupferung gläserner oder porzellanener Gefäße. Verh. d. Gewerbever. 47. 174.

Barral, Différences qui existent entre la dorure au mercure et la dorure galvanique. C. r. XXIV. 820; Dingl. polyt. Journ. CV. 32.

Rochas, Versilberung gebrauchter Daguerrotypplatten. C. r. XXV. 312.

Kroening, Echautillons de soie dore par le galvanisme. C. r. XXV. 818.

1848. Ch. de Salzede, Verfahren zum Bronziren von Eisenblech, Zink, Blei und Zinn. Dingl. polyt. Journ. CX. 421.

Max Herzog von Leuchtenberg, Beiträge zur galvanischen Vergoldung. Bull. de St. Pét. VI. No. 12. p. 177.

Ueber die Anwendung der magnetoelektrischen Maschine zum Versilbern und Vergolden der Metalle. Dingl. polyt. Journ. CVII. 55.

Hamel, Colossale elektromagn. Maschine zum Versilbern rc. Bull. d. St. Pét. VI. No. 10 u. 11. p. 145.

1849. Max Herzog v. Leuchtenberg, über galvanische Vergoldung im Großen und über einige dabei gemachte technische, wissenschaftliche Beobachtungen. Dingl. polyt. Journ. CXIV. 356; Bull. de St. Pét. VIII. 113; Inst. XVIII. 333; Erdm. u. March. XLVIII. 372. We.

Gas (Luft; lat. gas, aër, aura; franz. gas, air; engl. gas, air). Die Physik theilt die Körper nach ihren Aggregatzuständen (s. d. Art. Aggregat) gewöhnlich in drei Classen, in die festen (starren) oder soliden, die tropfbarflüssigen und die luftförmig-flüssigen oder expansiblen Körper ein. Diese letzteren, die man mit dem gemeinsamen Namen Gas oder auch Luft bezeichnet, haben wir hier näher zu betrachten. Das Wort Gas wurde zuerst von van Helmont gebraucht*) und bezeichnete den Dunst, der aus gährenden Flüssigkeiten aufsteigt. Der Name scheint vom deutschen Worte Gäscht, Gischt, Geist (vom altdeutschen „geisen", blasen, wehen, herzukommen), eine Bezeichnung für Schaum oder vielmehr dessen gasförmigen Inhalt, der etwas anders sein mußte als das eine Element, die Luft. Van Helmont unterschied die aus verschiedenen Körpern entbundenen Gase, als

*) Opera omnia. Frcfrt. 1682. 4. Gmelin, Geschichte der Chemie. Bd. I. S. 538. und 543. Gehler's phys. Wörterb. Bd. XI. S. 246.

gas sylvestre, flammeum, pingue, ventosum ohne bestimmte Bezeichnungen, denn erst als Priestley im Jahre 1774 die besondere Beschaffenheit des Sauerstoffgases erkannte, fing man an die Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Gase zu bestimmen.

Die beiden Haupteigenschaften der Gase sind die Fluidität, d. h. die leichte Beweglichkeit ihrer Theilchen und die Expansibilität oder das Bestreben sich im Raume auszubreiten.

Die gesammte Untersuchung der Gasarten hat man aber in zwei Hauptabtheilungen gebracht, deren erste das physikalische Verhalten derselben, die zweite ihre chemische Natur umfaßt.

Nach ihrem physikalischen Verhalten unterscheidet man permanente (beharrliche) und coercible Gase oder Dämpfe (s. d. Art. Dampf). Die ersteren behalten, falls sie sich nicht mit anderen Körpern chemisch verbinden *), ihre expansible flüssige Form bei, während letztere durch Druck und Kälte in den tropfbar-flüssigen oder festen Aggregatzustand übergehen können. Alle tropfbaren Körper nehmen durch Erwärmung die Dampf- oder Gasform an, vorausgesetzt, daß in Folge der Erhitzung nicht eine chemische Zersetzung stattfindet. Es ist aber auch wahrscheinlich, daß die meisten permanenten Gase ebenfalls durch einen hinreichend starken Druck und gehörige Temperaturerniedrigung tropfbar flüssig werden können, wiewohl die Nothwendigkeit für alle nicht aus allgemein giltigen Gründen erschlossen werden kann. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen läßt sich aber im Allgemeinen nicht festsetzen, da die letzteren innerhalb gewissen Grenzen ganz denselben Gesetzen folgen, welche auch für die Gase Geltung haben.

Faraday **) stellte die ihm bekannt gewordenen Nachrichten von der Verwandlung der Gase in tropfbare Flüssigkeiten zusammen, und wiederholte die Condensationsversuche ***), wobei es ihm dann gelang, noch mehrere andere bis dahin für permanent gehaltene Gase zu verdichten, so unter anderen die Kohlensäure bei einer Temperatur von 0° C. durch einen Druck von 36 Atmosphären. Die Beschreibung der zu diesen Versuchen nöthigen Vorrichtungen, so wie überhaupt das Nähere über diesen Gegenstand findet man in dem Art.: Verdichtung der Gase.

Nächst der Flüssigkeit ist die andere charakteristische Eigenschaft der Gase die Expansibilität (s. d. Artikel), unpassender auch die Elasticität genannt, da man unter Elasticität (s. d. Artikel) eigentlich die Eigenschaft der Körper versteht, vermöge welcher die Theilchen in die frühere Lage, aus welcher sie durch irgend eine Kraft gebracht worden sind, zurückzukehren suchen, während die Gase nur das Bestreben zeigen sich im Raume immer weiter zu verbreiten. Die Elasticität kommt bei den Gasen nur in einer Form, nämlich als sogenannte Druckelasticität vor, so daß eine gegebene Gasmenge, wenn sie durch einen äußeren Druck auf ein kleineres Volumen zusammengepreßt worden ist, nach Wegfall dieses Druckes wieder ihr voriges Volumen (kraft der Expansibilität) annimmt.

*) Chemisch sich verbindende Gase gehen oft sofort in den Zustand der Festigkeit oder tropfbaren Flüssigkeit über. So geben Ammoniak und salzsaures Gas mit einander verbunden festes Chlorammonium.

**) Journ. of the royal Inst. N. 32. Bibl. univ. de Gen. T. XXVI. p. 92.

***) Philos. Transact. 1823. p. 160 u. 183. Ann. de Chim. et de Phys. T. XXIV. p. 396 u. 403.

Schon die gewöhnlichsten Beobachtungen und eine Menge von Experimenten zeigen uns die Existenz der Expansibilität der Gase, namentlich der atmosphärischen Luft. In gewöhnlicher Weise überzeugt man sich davon, wenn man ein gewöhnliches Trinkglas umkehrt und im Wasser untertaucht, wobei letzteres in das Glas nur wenig, und der Tiefe bis zu welcher dieses eingetaucht wird, proportional eindringt, indem der Druck des umgebenden Wassers die Luft zusammendrückt. Dasselbe zeigt die Taucherglocke in größerem Maßstabe. Von den vielen Apparaten, mittelst deren sich die Expansibilität der Luft im Allgemeinen zur Genüge darthun läßt, seien hier nur die Luftpumpe, das Barometer, der Heronsball, Heronsbrunnen, Cartesianische Taucher, Windkessel und die Druckpumpe erwähnt. Die gesetzliche Beziehung aber zwischen der Dichtigkeit, der Elasticität und dem Volumen eines Gases wurde von Robert Boyle zuerst aufgefunden.

Franziscus Linus *) Professor der Mathematik in Lüttich konnte sich nicht überzeugen, daß das Quecksilber in der Toricelli'schen Röhre durch den äußeren Druck der Luft in die Höhe gehoben werde, sondern nahm einen gewissen Funiculus an, welcher hierbei das Quecksilber in die Höhe ziehe und die Erscheinungen des Saugens, der Pumpen ɔc. bewirke. Dies veranlaßte Robert Boyle im Jahre 1660 Versuche mit einer doppelt rechtwinklig gebogenen Röhre anzustellen, um eben zu zeigen, daß die Expansibilität der Luft wirklich das Quecksilber zu heben oder zu tragen vermöge **). Die Röhre, womit seit Boyle ähnliche Versuche oft wiederholt sind, ist eine sehr lange, heberförmig zu zwei ungleichen Schenkeln gebogene Barometerröhre, deren kürzerer geschlossener Schenkel möglichst cylindrisch ist. Man nennt eine solche Röhre häufig die Mariotte'sche. Gießt man nun in den unteren Raum BE dieser Röhre so viel Quecksilber, daß dasselbe in beiden Schenkeln gleich hoch steht, so hat die Luft in beiden dieselbe Expansivkraft. Gießt man von Neuem Quecksilber in den offenem Schenkel, so wird der Druck auf die abgesperrte Luft vermehrt und diese in einen kleineren Raum zusammengepreßt. Ist das Quecksilber im kürzeren Schenkel bis zum Punkte F gestiegen, der gerade in der Mitte zwischen E und C liegt, so nimmt die Luft nur noch die Hälfte ihres vorigen Volumens ein, und wenn man jetzt vom Punkte g aus, welcher mit F in gleicher Höhe liegt, die Höhe gf der Quecksilbersäule



*) Gehler's phys. Wörterbuch. Bd. IV. S. 1026.

**) Defensio de elatere et gravitate aeris advers. Objectiones Francisci Lini. London 1661. Genev. 1680. 4.

im längeren Schenkel mißt, so findet sich, daß dieselbe der gerade statthabenden Barometerhöhe gleich ist. Es hat demnach die in FC abgesperrte Luft, da auf die Säule gf noch die gewöhnliche Atmosphäre drückt, einen Druck von zwei Atmosphären auszuhalten. Bei hinreichender Länge des offenen Schenkels kann man durch neues Einfüllen von Quecksilber darthun, daß ein Druck von 3, 4 Atmosphären die abgesperrte Luft auf $1/3$, $1/4$ ihres anfänglichen Volumens zusammenpreßt. Das Volumen der Luft steht hiernach im umgekehrten Verhältniß des Druckes, dem sie ausgesetzt ist. Es war Richard Townley, ein Schüler Boyles, welcher bei den Versuchen des letzteren die proportionale Beziehung des Raumes, in welchen die abgesperrte Luft des kürzeren Schenkels zusammengepreßt wurde, zu den Längen der Quecksilbersäule im längeren Schenkel entdeckte. Etwas später als Boyle *) stellte Mariotte **) eine Reihe ähnlicher, zum Theil genauerer Versuche an und fand dasselbe Gesetz, welches man dann nach ihm das Mariotte'sche nannte, obschon es wohl richtiger das Boyle'sche Gesetz heißen sollte. Um dieses Gesetz für einen Druck, der weniger als eine Atmosphäre beträgt, zu prüfen, gebraucht man gewöhnlich beistehenden Apparat.



Eine gerade cylindrische Barometerröhre füllt man, aber nicht ganz voll, mit Quecksilber und verschließt ihr offenes Ende mit dem Finger, wodurch (beim Umkehren) eine Luftblase in den oberen Theil der Röhre steigt. Alsdann taucht man das Ende in das Quecksilber eines weiteren vertikal stehenden Gefäßes und zieht den Finger hinweg. Die Quecksilbersäule in der Röhre wird sogleich bis zu einem bestimmten Punkt sinken; aber ihre Länge kann nicht gleich der Barometerhöhe sein, da im oberen Theil der Röhre Luft und kein Vacuum wie beim Barometer ist. Wird die Röhre tiefer in das Quecksilber des Gefäßes hinabgedrückt, so muß das Volumen der eingeschlossenen Luft natürlich immer kleiner werden, und die letztere hat gewiß den Druck einer Atmosphäre auszuhalten, wenn man die Röhre so weit hinabdrückt, daß das Quecksilber innerhalb derselben genau im Niveau des äußeren Quecksilbers steht. Hebt man die Röhre wieder in die Höhe, so muß auch das Volumen der eingeschlossenen Luft wieder zunehmen, während die Quecksilberkuppe in der Röhre über das äußere Niveau steigt. Hat man nun die Röhre so weit gehoben, daß die Länge der abgesperrten Luftsäule doppelt so groß als vorher ist, so wird die Höhe der Quecksilbersäule über dem äußeren Niveau die Hälfte des gerade statthabenden Barometerstandes sein. Die Expansivkraft der abgesperrten Luft und die Quecksilbersäule in der Röhre halten zusammen dem äußeren atmosphärischen Drucke das Gleichgewicht. Die eingeschlossene Luft hat

*) Rob. Boylés Works. V. vol. fol. Lond. 1665. 1744. New Experiments touching the spring of the air Oxford. 1660. 8. Works T. I. p. 1. Continuation of Experiments Oxford. 1669. Works. T. III. p. 1. On the rarefaction of air Lond. 1671. Works. T. III. p. 202. Second. Continuation. Lond. 1681. 8. Works. T. IV. p. 96. General history of the air. Lond. 1692. 4. Works. V. 105.

**) Essay sur la nature de l'air. Paris 1676. 8. Du mouvement des eaux. Part. II. disc. 2. Oeuvres de Mariotte. la Haye 1740; tome I. De la nature de l'air. p. 152.

aber jetzt nur noch die Hälfte des atmosphärischen Druckes auszuhalten, während ihr Volumen doppelt so groß ist. Auf diese Weise fortfahrend, kann man das Mariotte'sche Gesetz auch noch für geringere Pressungen bewahrheiten. Dasselbe läßt sich nun folgendermaßen aussprechen:

Die Volumina, welche ein und dieselbe Masse Gas bei einer constanten Temperatur einnimmt, sind umgekehrt proportional den Pressungen, welche das Gas erleidet; oder anders ausgedrückt: Die Dichtigkeiten der Gase bei derselben Temperatur sind direct proportional dem Drucke. Die Ausdehnsamkeit oder auch die Spannkraft eines Gases ist also hiernach seiner Dichtigkeit proportional, da das Bestreben des Gases sich auszubreiten im Allgemeinen um so größer sich erweist, je stärker der äußere Druck ist, den es auszuhalten hat.

Bezeichnen daher V und P, V' und P' die einander zugehörigen Volumina und Drucke, so ist allgemein:

$$V' : V = P : P'$$

woraus wird:

$$V' = V \frac{P}{P'}.$$

Man kann daher allezeit das entstehende Volumen bestimmen, wenn das anfängliche Volumen, der demselben zugehörige und der neue Druck gegeben sind. Wird die schon zusammendrückte Luft einem neuen Drucke P'' ausgesetzt, so ist auf gleiche Weise:

$$V'' : V = P : P'' \text{ also } V'' = V \frac{P}{P''}$$

$$V'' : V' = P' : P'' \text{ woraus } V'' = V' \frac{P'}{P''}.$$

Bezeichnen aber D und D' die zu P und P' gehörigen Dichtigkeiten, so ist:

$$D' : D = V : V' \text{ also } D' = D \,.\, \frac{V}{V'}$$

$$D' : D = P' : P \text{ also } D' = D \,.\, \frac{P'}{P}.$$

Es ist hierbei vorausgesetzt worden, daß die Temperatur des Gases keine Veränderung erfahren habe. Findet eine solche statt, so gelten die im Artikel Expansibilität gegebenen Bestimmungen. Ist z. B. das Volumen eines Gases bei der Temperatur T und bei dem Drucke oder der Spannkraft P : = V, so hat man bei einer Temperaturveränderung von T auf T' zur Entwickelung des bei letzterer Temperatur statthabenden Volumens die Proportion:

$$1 + \alpha T : 1 + \alpha T' = V : x,$$

wo $\alpha = 0{,}00366$ der Ausdehnungscoefficient des Gases für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers ist (s. d. Art. Ausdehnung).

Wenn nun auch gleichzeitig der äußere Druck, unter welchem das Gas steht, ein anderer = P' geworden ist, so ergiebt sich das Volumen V', das der Temperatur T' und dem Drucke P' entspricht, nach dem Mariotte'schen Gesetze aus der Proportion

$$x : V' = P' : P,$$

wo für x der aus obiger Proportion ermittelte Werth zu ersetzen ist, so daß man erhält

$$V' = \frac{(1 + \alpha T') PV}{(1 + \alpha T) P'}.$$

Vergleicht man zwei ungleichartige Gase bei derselben Temperatur und bei demselben äußeren Druck, also bei gleicher Spann- oder Expansivkraft, mit einander, so zeigen sie verschiedene Dichtigkeiten. Bringt man sie aber bei derselben gemeinsamen Temperatur auf dieselbe Dichtigkeit, so sind ihre Expansivkräfte ungleich. Die Expansivkraft des einen Gases ist um so größer, je geringer seine Dichtigkeit im Vergleich mit der des anderen bei derselben Temperatur und demselben äußeren Druck ist. Aus dieser Vergleichung hat man sich den Begriff der specifischen Expansivkraft gebildet.

Die specifischen Expansivkräfte zweier materiell verschiedener Gase bei derselben Temperatur und gleichem äußeren Drucke verhalten sich hiernach umgekehrt wie deren Dichtigkeiten. So hat z. B. Wasserstoffgas eine 14 mal größere specif. Expansivkraft als die atmosphärische Luft, während die Dichtigkeit der letzteren 14 mal größer als die des ersteren ist.

Die Expansivkraft eines Gases ist demnach abhängig von der Dichtigkeit, der Temperatur und der materiellen Beschaffenheit desselben. Mit der Temperatur wächst die Expansivkraft eines Gases, und zwar, wenn das letztere in einem Gefäße eingeschlossen ist, das seiner weiteren Verbreitung einen festen Widerstand entgegensetzt, in demselben Verhältnisse, in welchem das Volumen bei derselben Temperaturerhöhung und bei ungehinderter Ausbreitung des Gases zugenommen haben würde.

Bezüglich der Dichtigkeit oder des specif. Gewichtes der Gase sind die Artikel Dichte und Gewicht, specifisches zu vergleichen.

Bei der wirklichen Anstellung der Versuche mit den oben angegebenen Apparaten muß die Luft hinreichend trocken sein, da die Wasserdämpfe nur bis zum Maximum ihrer Spannkraft dem Mariotte'schen Gesetze Folge leisten.

Das eben erläuterte Gesetz ist seit seiner Begründung durch Boyle und Mariotte vielfach und auf mancherlei Weise geprüft werden.

Dasselbe erhielt für geringere Druckkräfte schon Bestätigung durch die älteren Versuche von Beze, Amontons, Bouquer, s'Gravesande, Lambert, Fontana, Roy, Saussure u. A. Die Abweichungen, welche sich bei einigen ergaben, rühren ohne Zweifel von beigemengten Wasserdämpfen her. Muschenbrök will die Luft bis aufs viertausendfache verdünnt haben, was aber im höchsten Grade unwahrscheinlich ist; auch giebt er nicht an, wie er diese Verdünnung gemessen hat *).

Sulzer **), Oerstedt und Swendsen ***) untersuchten, ob sich das Mariotte'sche Gesetz auch bei sehr starker Compression bewähre, und fanden in Uebereinstimmung mit den theoretischen Untersuchungen d'Alembert's ****),

*) Musschenbröck, Introd. §. 2163. Gehler's Wörterb. Bd. IV. S. 1045.
**) Sulzer, in Mémoir de Berlin. 1753.
***) Edinburg Journ. of Scienc. T. IV. p. 224.
****) d'Alembert, Tr. de Fluides. T. I. c. 6.

Euler's *) und Mayer's **), daß es bei den permanenten Gasen bis zu hohen Drücken Gültigkeit hat, und daß auch bei den Dämpfen sich erst dann erhebliche Abweichungen ergeben, wenn dieselben so weit verdichtet worden, daß die Theilchen einander hinlänglich genähert sind, um in den tropfbaren Aggregatzustand überzugehen.

Der Apparat, dessen sich Oerstedt und Swendsen bei sehr beträchtlichen Drücken zur Constatirung des Mariotte'schen Gesetzes bedienten, war wesentlich der Luftbehälter einer Windbüchse. Mittelst der Wage bestimmten sie das Gewicht der eingepreßten Luft und daraus deren Dichtigkeit. Die Expansibilität des Gases wurde durch den Druck bestimmt den dasselbe auf ein stählernes Ventil ausübte, welches das Gefäß genau verschloß, und durch den einen Arm eines Hebels festgedrückt wurde, an dessen anderen Arme sich ein Laufgewicht befand. Indem man das Gewicht auf dem Arme immer weiter nach dem Drehpunkt des Hebels zu bewegte, fand man den Punkt, wo das Gewicht eben von der Elasticität des eingeschlossenen Gases überwunden wurde. Diese Methode kann allerdings keine vollkommen genauen Resultate geben, und die erhaltenen Werthe können daher immer nur als Annäherungen gelten; aber nichts destoweniger, kann man aus diesen Versuchen schließen, daß die atmosphärische Luft bis zu einem höchst bedeutenden Drucke nicht merklich vom Mariotte'schen Gesetze abweicht.

Die von der Pariser Akademie ernannte Commission (Arago, Ampere, Dulong, Girard, Prony) bestätigte dasselbe bis zu einer Druckkraft von 27 Atmosphären.

Die zu diesem Zwecke in Anwendung gebrachten Vorrichtungen waren der Hauptsache nach folgende ***). In der Mitte eines alten Thurmes des Collège Henri IV. war ein 110 Fuß hoher Mastbaum von Holz aufgerichtet, an dessen Fuße sich ein gußeisernes Gefäß befand, welches mit einem Manometer und einer Druckpumpe in Verbindung war; an dem Maste selbst war eine lange Glasröhre befestigt, welche aus 13 Röhren von 2 Meter Länge, 5^{mm} Durchmesser und eben so großer Wanddicke zusammengesetzt war. Die einzelnen Röhren waren durch starke Ringe verbunden. Die Fassung der oberen Röhre saß mit ihrer wohlgeebneten unteren Fläche auf einer Lederscheibe, welche auf der unteren Fassung lag. Durch eine Schraube konnte man die obere Fassung fest auf die Lederscheibe pressen. Die untere Fassung hatte noch einen aufwärtsstehenden Rand, wodurch gleichsam ein Gefäß gebildet wird, welches mit geschmolzenem Mastix vollgegossen wurde, so daß jedes Entweichen von Quecksilber dadurch unmöglich war. Die verticalen Höhen der Quecksilbersäulen wurden an einem Maßstabe auf welchem eine verschiebbare Zunge angebracht war gemessen. Um aber die unteren Röhren nicht so sehr durch das Gewicht der oberen zu belasten, waren an dem oberen Ende jeder Röhre Schnüre angebracht, welche um Rollen geschlungen waren und auf der anderen Seite Gewichte trugen, die dem Gewichte der Röhre gleich waren.

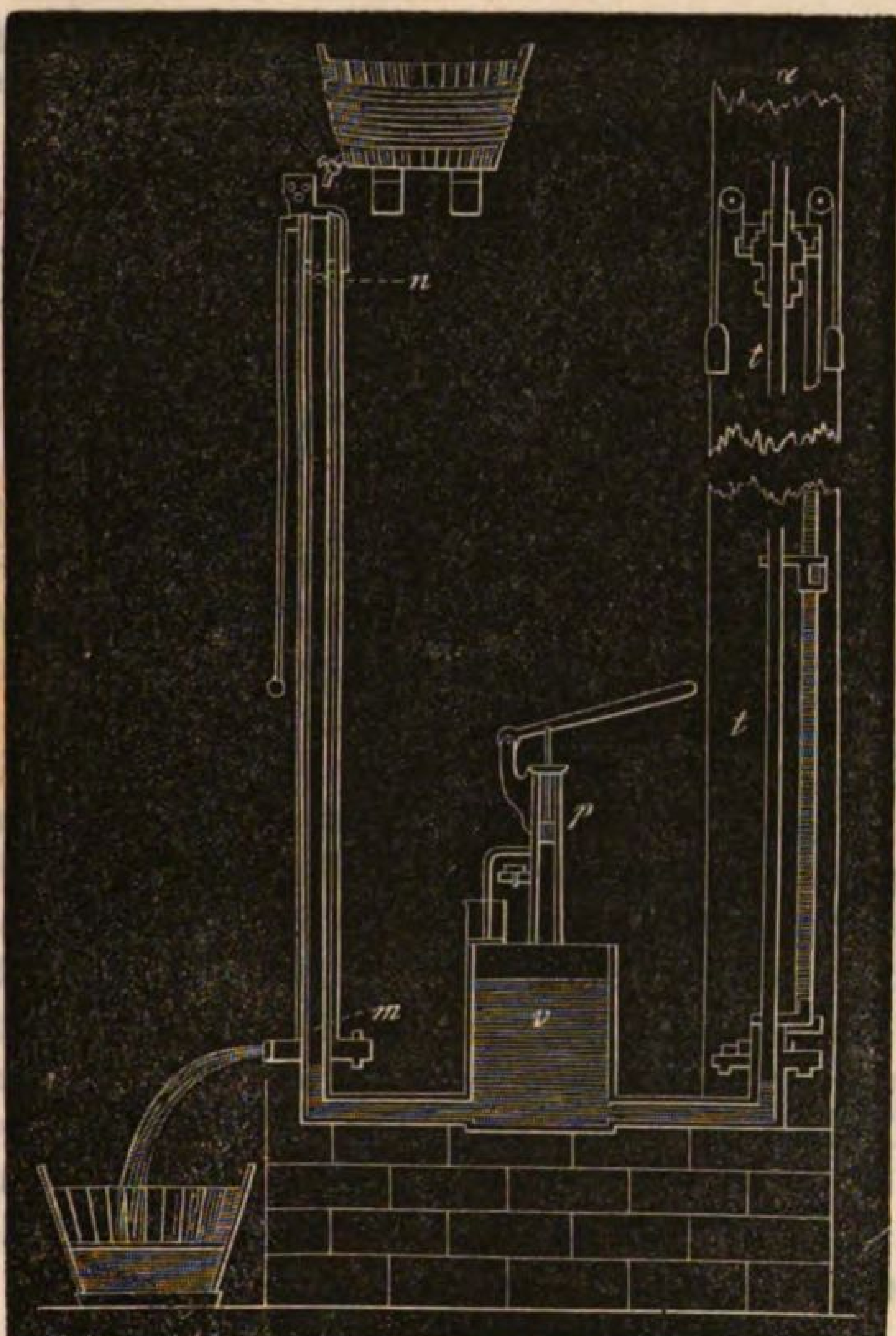
---

*) Euler, Comm. Petropol. T. II.

**) T. Mayer, Götting. Anz. 1822.

***) Ann. de chim. et de Phys. T. XLIII. Müller-Pouillets Lehrbuch. Bd. I. S. 130.

Die Manometerröhre, die das zu messende Luftvolumen enthielt, war den Röhren der verticalen Säule ganz ähnlich; sie war zuerst in eine feine Spitze ausgezogen, sorgfältig graduirt, ohne daß jedoch die Theilstriche mit dem Diamant gemacht worden wären, was ihre Haltbarkeit leicht hätte vermindern können. Nachdem sie am Apparat befestigt war, wurde lange ein Strom trockner Luft hindurchgelassen und endlich die feine Spitze zugeschmolzen, ohne daß die Theilung merklich verändert wurde. Um die Luft im Manometer auf einer constanten Temperatur zu erhalten, wurde es mit einem weiteren Glascylinder umgeben, durch welchen ein Strom Wasser ging. Passend angebrachte Thermometer gaben in jedem Augenblicke die Temperatur der verschiedenen Theile des Apparates an. Ein Barometer maß den Atmosphärendruck an der Basis, ein anderes am Gipfel der Quecksilbersäule in der verticalen Röhre.



Das eiserne Gefäß enthielt Quecksilber und stand mit der Druckröhre und mit der Manometerröhre in Verbindung; durch eine Druckpumpe wurde Wasser in das eiserne Gefäß gepumpt und dadurch das Quecksilber theils in die Druckröhre, theils in die Manometerröhre getrieben, wo es die Luft comprimirte.

Beistehende Figur giebt eine Zeichnung der Haupttheile des Apparates. v ist das gußeiserne Gefäß, p die Druckpumpe, m n das oben verschlossene Manometer, t die verticale oben offene Röhre, a der Mast, an dem die Röhre befestigt ist.

Aus Versuchen von Despretz *), deren Gegenstand die Prüfung des Mariotte'schen Gesetzes in Bezug auf verschiedene Gasarten war, geht hervor, daß alle von ihm angewandten Gase mit Ausnahme des Wasserstoffes bei gleichem zunehmenden Drucke ein kleineres Volumen annehmen als die atmosphärische Luft. Auch zeigte sich, daß der Unterschied der Volumina beider nicht allein bei ver-

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXIV. p. 335 u. 443. Mém. de l'Acad. Franc. T. XXI. p. 334.

mehrtem Drucke zunimmt, sondern auch um so größer ist, je leichter die Gasarten durch mechanischen Druck in den tropfbarflüssigen Zustand übergehen. Das Wasserstoffgas allein verhält sich bei 15 Atmosphären Druck mit der atmosphärischen Luft nahe übereinstimmend. Wie bald eine Verschiedenheit der Dichtigkeiten bei gleichmäßig vermehrtem Drucke sich einstellt, zeigen nachstehende Zahlen:

Luft	1,000	Ammoniakgas	1,000
„	1,819	„	1,850
„	2,582	„	2,663
„	3,863	„	4,132

Regnault *) hat das Mariotte'sche Gesetz von Neuem einer Prüfung unterworfen und dabei einige Uebelstände, welche bei den Versuchen Arago's und Dulong's stattfanden, zu vermeiden gesucht.

Der kürzere Schenkel einer zweischenkligen Mariotte'schen Röhre, in dem sich die Luft befand, war mit einem Hahne versehen, durch welchen der innere Raum desselben mit einer Druckpumpe in Gemeinschaft gesetzt werden konnte. Auf diesem Rohre, das als Manometer diente, 3 Meter lang und 8 bis 10 Millimeter weit war, waren zwei Striche gezogen, von denen der eine, gegen das untere Ende hin, dem Volumen = 1, der zweite aber genau der Hälfte des Rauminhaltes des Rohres, also dem Volumen = $1/2$ entsprach. Das Volumen 1 wurde unter dem Drucke der Atmosphäre mit trockner Luft angefüllt, und diese durch Eingießen von Quecksilber in den anderen Schenkel verdichtet, so lange, bis das Quecksilber in dem Manometerrohre bis zum zweiten Striche gestiegen war. Die Luft nahm jetzt nur noch das Volumen = $1/2$ ein, und wenn nun das Mariotte'sche Gesetz in aller Strenge gelten sollte, so mußte jetzt die Elasticität genau gleich zwei Atmosphären gefunden werden. Die Druckpumpe wurde nun in Anwendung gebracht und durch den geöffneten Hahn in das Manometerrohr Luft unter einem Quecksilberdruck von 2 Atmosphären gepreßt, bis sie wieder das Volumen 1 bis zum unteren Striche einnahm. Nachdem der Hahn geschlossen und die Luft von Neuem auf das Volumen = $1/2$ zusammengedrückt war, mußte ihre Elasticität nach dem Mariotte'schen Gesetze genau gleich 4 Atmosphären sein. Hiernach wurde das Volumen 1 unter dem Drucke von 4 Atmosphären gefüllt, und dasselbe mußte dann den Druck von 8 Atmosphären zeigen, wenn es auf die Hälfte comprimirt wurde. Auf diese Weise wurde fortgefahren, so weit es die Haltbarkeit des Apparates erlaubte.

Regnault untersuchte atmosphärische Luft, Stickstoff, Kohlensäure und Wasserstoff. Keines dieser Gase folgte genau dem Mariotte'schen Gesetze. Atmosphärische Luft, Stickstoff und vorzugsweise Kohlensäure lassen sich stärker zusammendrücken, als dem Mariotte'schen Gesetze gemäß ist, während Wasserstoff weniger zusammendrückbar ist, als dieses Gesetz verlangt. Bezeichnet man die Elasticität eines Gases durch r und die zugehörige Dichtigkeit durch m, so erfordert das Mariotte'sche Gesetz für $\frac{r}{m}$ einen constanten Werth = 1. Nach den Versuchen Regnault's ist aber dieses Verhältniß für atmosphärische Luft,

*) Mém. de l'Acad. Franc. T. XXI. p. 341.

Stickstoff und Kohlensäure kleiner als 1 und nimmt fortwährend ab, während für Wasserstoff $\frac{r}{m}$ größer als 1 ist und wächst.

Im Folgenden sind für die angeführten Gase die Werthe von $\frac{r}{m}$ für bestimmte Dichtigkeiten m so mitgetheilt, wie sie Regnault anführt. Die Drucke sind in Metern Quecksilbersäule ausgedrückt. Man kann dieselben leicht in Atmosphären ausdrücken, wenn man weiß, daß ein Atmosphärendruck = $0^m,760$ Quecksilber ist.

Atmosphärische Luft.

Dichtigkeit (= m)	Werthe von $\frac{r}{m}$
2	0,998782
4	0,996490
8	0,993212
16	0,987780

Stickstoff.

Dichtigkeit (= m)	Werthe von $\frac{r}{m}$
2	0,999250
4	0,997953
8	0,995514
16	0,991232

Kohlensaures Gas.

Dichtigkeit (= m)	Werthe von $\frac{r}{m}$
2	0,99147
4	0,97423
8	0,93992
16	0,87038

Wasserstoffgas.

Dichtigkeit (= m)	Werthe von $\frac{r}{m}$
2	1,000430
4	1,001532
8	1,004243
16	1,010102

Die Abnahme des Werthes von $\frac{r}{m}$, während die Dichtigkeit zunimmt, hat wohl ohne Zweifel ihren Grund darin, daß bei Annäherung an den Punkt, wo die betreffenden Gase tropfbar flüssig werden, in Folge einer Anziehung ihrer kleinsten Theilchen eine Schwächung der Expansibilität eintritt, während ein Gas, wie Wasserstoff, so lange es frei von diesem Einflusse ist, bei der Verdichtung immer steigende Werthe von $\frac{r}{m}$ darbietet. Avogadro *), der auf Grund der von Regnault gelieferten Daten verschiedene sinnreiche Betrachtungen und Rechnungen angestellt hat, weist auf die Nothwendigkeit hin, das Mariotte'sche Gesetz so zu fassen, daß man für den Druck r einen Werth = 0 erhalte, bevor noch die Dichtigkeit = 0 geworden. Aus den Versuchen Regnault's über die Compressibilität der Gase, namentlich des Wasserstoffgases, hat Avogadro nun ein empirisches Gesetz abzuleiten und den Einfluß zu bestimmen gesucht, den die Annäherung an den sogenannten Liquificationspunkt herbeiführt, so wie endlich auch die Grenze berechnet, bei welcher die Verflüssigung der Gase eintritt.

Avogadro giebt als einfachste Bedingungsgleichung für den Fall, daß r = o wird, bevor es m wird, den Ausdruck

$$a^{\left(\frac{r}{m} - 1\right)^x} = m$$

der in logarithmischer Form ist

$$\left(\frac{r}{m} - 1\right)^x = \frac{1}{\log a} \, . \log m$$

$$\text{oder } \frac{r}{m} - 1 = \left(\frac{1}{\log a} \, . \log m\right)^{\frac{1}{x}}$$

wo a und x die aus den Versuchen zu bestimmenden Größen sind. Um den Einfluß des Verflüssigungspunktes zu bestimmen, fügt er noch ein Glied hinzu, so daß man dann folgende Gleichung hat:

$$\frac{r}{m} - 1 = \left(\frac{1}{\log a} \log m\right)^{\frac{1}{x}} - C\,(m - A)^y$$

wo C eine aus den Versuchen zu bestimmende Constante, m — A aber die Dichtigkeit ist, bei welcher der Einfluß des Liquefactionspunktes merkbar wird; y ist ebenfalls aus den Versuchen zu bestimmen.

Indem er nun zunächst für Wasserstoff den Werth von m bestimmte, für welchen der Druck r = o wird, fand sich

$$r = o \text{ für } m = \frac{1}{9735{,}32},$$

so daß ungefähr bei einer 1000fachen Verdünnung die Elasticität des Wasser-

---

*) Mém. de l'Acad. de Turin, 2 série, tom. XIII. Ann. de chim. et de Phys. T. XXXIX. p. 140.

stoffs verschwindet. Dabei ist die Dichtigkeit bei einem Meter Quecksilberdruck zur Einheit genommen.

Avogadro hat nun auch die Dichtigkeit und den Druck berechnet, für welche bei Wasserstoff, Kohlensäure, Stickstoff und Sauerstoff das Maximum der Tension stattfindet, und bei welchen diese Gase in den tropfbarflüssigen Zustand übergehen würden.

Die folgende Tabelle enthält die Dichtigkeiten, (die Dichtigkeit bei einem Atmosphärendruck als Einheit genommen) bei welchen das Maximum der Tension stattfindet, nebst den entsprechenden Drucken in Atmosphären.

Namen der Gase	Dichtigkeiten	Drucke
Wasserstoffgas . .	470,0	281,0
Chlorsaures Gas .	58,2	31,6
Stickstoffgas . . .	137,2	137,4
Sauerstoffgas . .	69,2	67,0

Die Zahlen für Sauerstoff erhielt Avogadro indirect aus den Daten für atmosphärische Luft. Alle Zahlen dieser Tabelle gelten nur für eine Temperatur von einigen Graden über 0°.

Die angeführten Maxima der Tension können natürlich nur als Annäherungswerthe gelten, da sie nur nach empirischen Formeln, die sich auf wenige Data stützen, berechnet wurden. Doch ist für die Kohlensäure eine Controle vorhanden, welche eine Bestätigung zu gewähren scheint; denn wenn man das Mittel aus den bei 0° von Thilorier und Addams angestellten Versuchen nimmt, so ergiebt sich der zur Condensation nöthige Druck = 31,75 Atmosphären, während die auf Regnault's Daten gegründete Rechnung = 31,6 Atmosphären liefert.

Das Boyle'sche oder Mariotte'sche Gesetz hat nun ohne Zweifel, den bisher angestellten Untersuchungen zufolge, eine gewisse Giltigkeit, sowohl für die Dämpfe als für die sogenannten permanenten Gase. Beide zeigen ein Verhalten, das durch dieses Gesetz annähernd angezeigt wird, aber nur bis zu einer, jedem von ihnen eigenthümlichen Grenze.

Im Artikel Diffusion ist ein von Dalton aufgestelltes Gesetz für den inneren Zustand eines Gemenges zweier oder mehrerer chemisch auf einander unwirksamer Gase ausführlich erörtert worden. Bei der mechanischen Mengung zweier heterogener Gase nämlich, die nicht unmittelbar chemisch auf einander wirken, verbreiten sich dieselben ganz gleichförmig in einander, während sehr viele tropfbare Flüssigkeiten sich nach ihrem specifischen Gewichte über einander lagern. Nach der Dalton'schen Theorie *), welche von Berthollet **) und Graham ***) experimental bestätigt worden (s. Art. Diffusion), wirken die Theilchen ungleichartiger Gase nicht repulsiv gegen einander,

*) Manch. Mem. T. V. p. 543. Chem. Thl. d. Natw. Berlin 1812. T. I. p. 170.
**) Memoir. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 463.
***) Quarterly Journal of Scienc. T. III. p. 354. u. T. VII. p. 106. Edinb. Philosoph. Transact. T. XII. p. 222. Poggend. Ann. Bd. XVII. S. 341. u. Bd. XXVIII. S. 331.

sondern jedes Gas verbreitet sich in dem anderen gerade so wie im luftleeren Raume, jedoch mit geringerer Geschwindigkeit, so daß das eine Gas für das andere gewissermaßen nur als mechanisches Hinderniß in Betracht kommt.

Früher galt es allgemein, daß alle Gase und Dämpfe zwischen gleichen Temperaturgrenzen in demselben Maße sich ausdehnten, und daß die Ausdehnung eines Gases zwischen denselben Temperaturgrenzen für gleiche Aenderungen der Temperatur unabhängig von seiner anfänglichen Dichtigkeit wäre. Die umfassenden Versuche Regnault's *) haben jedoch dargethan, daß diese beiden Gesetze nur innerhalb gewisser Grenzen richtig sind, und überhaupt nur für den vollkommenen Gaszustand Geltung haben, und demgemäß den Beobachtungen um so mehr genügen, je weiter die Gase von jenem Punkte entfernt sind, bei dem sie in die tropfbarflüssige Form übergehen. Nach Gay-Lussac beträgt der Ausdehnungscoefficient (s. d. Art. Ausdehnung Bd. I. S. 615 ff.) der atmosphärischen Luft für eine Temperaturveränderung von 0° bis 100° C. 0,375, dagegen nach Rudberg 0,3646, nach Magnus 0,3665 und nach Regnault 0,36706.

Regnault fand diesen Coefficienten für:

Wasserstoff	=	0,36613
Kohlenoxyd	=	0,36688
Kohlensäure	=	0,37099
Stickstoffoxydul	=	0,37195
Cyan	=	0,38767
Schweflige Säure	=	0,39028

Auch nach den Versuchen von Magnus ist dieser Coefficient bei verschiedenen Gasen sehr ungleich **), und sehr wahrscheinlich ist es daher, daß alle coercibeln Gase oder Dämpfe in geringer Entfernung von dem Punkte, bei dem sie tropfbarflüssig werden, Ausdehnungscoefficienten besitzen, die von dem der Luft sehr verschieden sind. Bei der Kohlensäure wächst die Ausdehnung mit dem Drucke weit rascher als bei der atmosphärischen Luft, und bei dieser ist sie nach Regnault's Versuchen zwischen denselben Temperaturgrenzen um so bedeutender, je größer ihre Dichtigkeit ist.

Magnus hat neuerdings auch einige Versuche über die Verdichtung der Gase an der Oberfläche glatter Körper angestellt und dabei untersucht, ob eine solche Verdichtung (an der inneren Fläche der Glasgefäße) einen Einfluß auf die Bestimmung des Ausdehnungscoefficienten gehabt haben könnte. Es wurde der Ausdehnungscoefficient bestimmt, indem das betreffende Gas einmal mit einer kleineren, das andere Mal mit einer größeren Fläche des Glases, im Verhältniß zu seinem Volumen, in Berührung war. Zuerst wurde eine Glasröhre von 20^{mm} Durchmesser und 250^{mm} Länge, und dann eine ähnliche benutzt, in der sich aber 250 Glasstäbe befanden, von gleicher Länge und von 1^{mm} Dicke. Die Glasoberflächen in beiden Röhren verhielten sich wie 1 : 13,5. Das Volumen der Luft war in der letzteren geringer, so daß im Verhältniß zur angewandten Luft die Oberflächen sich verhielten nahe wie 1 : 36. Die Rechnung ergab nun zufolge sorgfältiger Versuche mit

*) Mémoires de l'Acad. de scienc. de France. Tome XXI. 1847.

**) Ann. de Chim. et de Phys. 3 Sér. T. V. Poggend. Ann. Bd. LV. 1. S. 391. u. LVII. S. 115. 177. 199.

derartigen Apparaten für den Ausdehnungscoefficienten der schwefligen Säure von 0° bis 100° C. in der Röhre ohne Glasstäbe 0,3822, in der mit Glasstäben 0,3896. Hieraus läßt sich entnehmen, daß eine Verdichtung an der Oberfläche stattgefunden hat. Um daraus die Größe dieser Verdichtung zu berechnen, bezeichne $\frac{1}{n}$ das Volumen des an der Oberfläche der Stäbe bei 0° verdichteten Gases, und das Volumen des übrigen entweder nicht, oder nur an den Röhrenwänden verdichteten, bei derselben Temperatur, sei = 1; es ist dann $\left(1 + \frac{1}{n}\right) 1,3822 = 1,3896$, folglich $\frac{1}{n} = 0,00535$. Die Röhre ohne Stäbe hatte 78525 Cubik-Millimeter, das Volumen sämmtlicher Stäbe war 49079 Cub.-Millimeter. Also das Luftvolumen in der mit Stäben gefüllten Röhre 29447 Cub.-Millim. Das an der Oberfläche der Stäbe verdichtete Gas war mithin 0,00535 . 29447 = 157,5 Cub.-Millim. Die Oberfläche der Stäbe betrug 196704 Quadrat-Millim., also die Verdichtung für jedes Quadrat-Millim. $\frac{157,5}{196704} = 0,000800$. Für die Einheit der glatten Oberfläche von Glas ist hiernach die Verdichtung der schwefligen Säure bei 0° = 0,0008 der cubischen Einheit. Als statt der Glasstäbe Platinschwamm angewendet wurde, ergaben die Versuche, daß in 7 Grammen Platinschwamm eine stärkere Verdichtung stattfindet als an der Oberfläche jener 250 Glasstäbe *).

Durch Compression der Gase wird Wärme frei, durch Verdünnung hingegen Abkühlung erzeugt. Diese Temperaturerhöhung und Temperaturerniedrigung der Gase muß dem Umstande zugeschrieben werden, daß mit der größeren Dichtigkeit die specifische Wärme der Gase geringer wird, mit der größeren Verdünnung aber wächst, daß also ein Theil der Wärme, welcher als specifische Wärme in denselben enthalten war, bei ihrer Compression als fühlbare Wärme austritt.

Nach ihrer chemischen Zusammensetzung werden die Gase eingetheilt in 1) einfache oder elementare, als: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, wozu noch die Dämpfe der chemisch einfachen Körper zu rechnen sind, falls sich kein strenger Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen machen läßt; 2) in zusammengesetzte, welche immer einen von jenen gasförmigen Stoffen enthalten, als: Kohlenoxyd, Kohlensäure, Kohlenwasserstoff im Minimum und Maximum, Phosphorwasserstoff, schweflige Säure, Schwefelwasserstoffgas, Selenoxyd, Selenwasserstoffsäure, Chlorwasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure, Bromwasserstoffsäure, Chloroxydul, Chloroxyd, Fluorbor, Stickstoffoxydulgas, Stickstoffoxydgas, Ammoniakgas, Cyangas, Fluorsilicium, Arsenikwasserstoff, Antimonwasserstoff u. a. m. Mit ihren chemischen Eigenschaften ist weiter die Unterscheidung gegeben, von 1) zündenden, 2) brennbaren und 3) weder zündenden noch brennbaren. Zu der 1. Classe, welche das Entzünden oder Verbrennen von Sub-

*) Monatsber. d. K. Akad. d. Wissensch. zu Berlin, Juni 1853. S. 378; — Zeitschrift für die gesammten Naturw. Herausg. v. d. naturw. Vereine in Halle. Jahrg. 1853. Oktober. S. 256.

stanzen bewirken, gehören Sauerstoff, Chlor und Stickstoffoxydgas. Zu den brennbaren (der zweiten Classe) oder verbrennlichen, welche sich selbst bei Berührung mit anderen Substanzen entzünden, gehören Wasserstoff, Phosphorwasserstoff, Kohlenwasserstoff, Kohlenoxyd u. a. m. Die 3. Classe begreift alle übrigen Gase, in sofern dieselben weder anderen Stoff entzünden, noch sich unter merklicher Lichterscheinung mit anderen Körpern verbinden.

Nach ihrem Einfluß auf den Proceß des Athmens hat man die Gase in respirable (athembare) und irrespirable oder mephitische eingetheilt. Das Nähere hierüber findet man im Art. Athmen Bd. I. S. 435 ff.

Als eine interessante Relation der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Gase sei hier noch das von Gay-Lussac zuerst aufgestellte Gesetz erwähnt, nach welchem elastisch flüssige Körper sich nur in sehr einfachen und constanten Verhältnissen ihrer Volumina mit einander chemisch verbinden (das Nähere über diesen Punkt im Artikel Verwandtschaft).

Der gasförmige Zustand der Körper ist nicht minder als der tropfbarflüssige durch das bedingt, was man Wärme nennt, dergestalt, daß die Betrachtungen über das Wesen der Gasform in innigstem Zusammenhange stehen mit denen über die Natur der Wärme. Vergl. d. Art. Wärme und Materie. We.

Gasbeleuchtung. Die Beleuchtung, durch die wir den zeitweisen Mangel des natürlichen Lichtes ersetzen, ruht ganz auf chemischer Grundlage und bevor diese nicht erkannt war, konnte von einer wesentlichen Verbesserung jener nicht die Rede sein. Sobald aber Lavoisier den chemischen Vorgang bei der Verbrennung, der noch heute die Grundlage der Chemie ist, erforscht hatte, war die Bahn zum Fortschritt gebrochen und seit dieser Zeit, in wenig mehr als fünfzig Jahren, sind werthvollere Verbesserungen eingeführt als in den Jahrtausenden vorher. Den Gipfelpunkt aller macht die Gasbeleuchtung aus, deren Bedeutung man bei uns freilich immer noch nur mehr ahnt als wirklich begriffen hat. Man kann von ihr sicher behaupten, daß sie sich überallhin Bahn brechen und eines Tages, wenn auch nicht die übrigen Beleuchtungsweisen ganz verdrängen, so doch bedeutend einschränken wird. Auch sie wird mit der fortschreitenden Wissenschaft bedeutende Veränderungen, vielleicht in gar nicht langer Zeit, erfahren, das einmal eingeführte Princip aber wird nicht wesentlich berührt werden.

Die in der Natur in großer Menge vorkommenden Steinkohlen, die Reste einer untergegangenen großartigen Vegetation, unterliegen einer fortdauernden Zersetzung; es entwickelt sich aus ihnen ein brennbares Gas, das durch Risse einen Weg nach außen findet. Diese Entdeckung machte zuerst 1664 Dr. Clayton, als er sich zufällig mit einer brennenden Kerze dem aus der Spalte eines Steinkohlenflötzes entweichenden Gase näherte. Es gelang ihm sogar durch Erhitzen der Steinkohle bei Abschluß der Luft den brennbaren Geist, wie er die gasförmigen Zersetzungsproducte seiner Zeit gemäß nannte, darzustellen. Fast zu gleicher Zeit spricht auch Becher, ein deutscher Chemiker, der 1685 zu London starb, in dem 36. §. seines Buches: „närrische Weisheit und weise Narrheit" von dieser Invention und kurz vor seinem Tode experimentirte er selbst vor dem Könige von England. Obgleich er die Sache in ein vortheilhaftes Licht zu stellen wußte, wobei er namentlich auch auf die werthvollen Nebenproducte — den Theer und

die Koks — aufmerksam machte, so vergingen dennoch mehr als 100 Jahre, bevor man aus diesen Beobachtungen Nutzen für das so sehr im Argen liegende Beleuchtungswesen zog. Mehr Beachtung fanden die Anpreisungen, welche Becher dem Theer — für Englands Marine ein wichtiges Product — und den Koks hatte angedeihen lassen. Zu diesem Zwecke führte 1786 Lord Dundowald auf seiner Besitzung Culroß-Abtei die ersten Betriebsanlagen in einem größeren Maßstabe aus. Die Lordschaft und seine vornehmen Gäste belustigten sich an dem Brennen des Gases; weiter aber reichten ihre Gedanken nicht, die Arbeiter wußten einen besseren Gebrauch von dieser Curiosität zu machen; sie kitteten in die Vorlagen, welche zum Auffangen des Theers dienten, eiserne Röhren und zündeten bei Nacht das ausströmende Gas an, damit sie bei der Arbeit sehen konnten.

Ueber die Frage, wer zuerst die brennbaren Gase zur Beleuchtung verwendet habe, ist durch viele Jahre hindurch der heftigste Streit zwischen Franzosen und Engländern geführt worden und doch liegen die Thatsachen für nicht durch Leidenschaft erhitzte Gemüther so klar da, daß ein Zweifel kaum denkbar ist. Keine große Entdeckung fällt vom Himmel und wenn auch der Zufall dazu Veranlassung gegeben hat, so erfordert die Ausbildung dennoch ausgedehnte Studien. So auch hier. Murdoch, ein geschickter Mechaniker, in den Bergwerken von Cornwallis angestellt, beleuchtete sein Haus zu Redruth seit 1792 mit Gas; von da aber beschäftigte er sich ernstlich mit Versuchen über die Beschaffenheit und die Menge der Gase, welche die verschiedenen Steinkohlen in der Hitze ausgeben. 1796 endlich glaubte er mit seinen Plänen in die Oeffentlichkeit treten zu können. Bei dem thätigen Fabrikanten Boulton hoffte er Unterstützung zu finden und machte er sich zu diesem auf den Weg. Nun erzählt man sich weiter von ihm, daß er zu jener Zeit bereits einen kleinen Dampfwagen construirt habe, den er zur Unterhaltung seiner Mitbürger durch die Straßen der Stadt laufen ließ und ihn des Nachts zum größten Erstaunen seiner Nachbarn mit Gas erhellte. Um dies Wunder mit eigenen Augen zu schauen, hatte auch Boulton sich auf den Weg gemacht. Beide, bis dahin einander persönlich unbekannt, trafen zufällig unterweges in einem Gasthofe zusammen, und groß war ihr Erstaunen, als sie im Laufe des Gespräches den Zweck ihrer Reisen erfuhren. Von dieser Zusammenkunft datirt sich eine Vereinigung, die für die ganze menschliche Gesellschaft von dem größten Nutzen geworden ist. Denn 1798 stellte Murdoch in der Fabrik von Boulton und Watt in Soho bei Birmingham einen großartigen Apparat auf, um das Hauptgebäude, so wie später die ganze Fabrikanlage mit Gaslicht zu erhellen. Und von hier ab beginnt die eigentliche Geschichte der Gasbeleuchtung.

Diesem stellen nun die Franzosen den Ingenieur Lebon entgegen, der sich seit 1799 mit der Darstellung des Leuchtgases aus Holz beschäftigte. Läßt sich nun auch die frühere Anwendung des Leuchtgases den Engländern nicht streitig machen, so gebührt die Ehre der ersten wissenschaftlichen Auffassung dennoch Lebon. Während der Ideenkreis in England so beschränkt war, daß man lange Zeit die Entstehung der brennbaren Gase für eine nur den Steinkohlen zukommende Eigenthümlichkeit hielt, entwickelte Lebon in einer Schrift von nur wenigen Seiten weit greifende Gedanken. Er bezweckte nicht allein Licht, sondern auch Wärme und eine für jede Art von Maschinen zu verwendende bewegende Kraft zu liefern; er macht bereits aufmerksam auf die Vergeudung der brennbaren Gase in

den Eisenhüttenwerken, die doch kostbare Wirkungen der Wärme und Bewegung für diese Werkstätten abgeben könnten, — Worte, die selbst noch heute sehr zu beherzigen sind. Wenn er auch Holz zur Darstellung des Gases verwendete, — hauptsächlich des dabei abfallenden Holzessigs wegen, der jetzt zu manchen technischen Fabrikaten eine großartige Verwendung findet, — so wußte er doch sehr gut, daß auch Fett und Steinkohlen dazu dienlich seien. Ueberhaupt tritt uns in dieser kleinen Schrift eine Klarheit der Gedanken entgegen, die wir noch heute bewundern müssen.

Obgleich Lebon alle Eigenschaften des Geistes besaß — Thätigkeit, Einsicht, Kühnheit, — die nöthig waren, um das Werk zu einem guten Ende zu führen, so scheiterte er doch gänzlich an der Theilnahmlosigkeit, mit der die Franzosen seine zu Havre und Paris im Großen angestellten Versuche aufnahmen. Als nun durch die beträchtlichen Kosten dieser Unternehmungen sein Vermögen fast erschöpft war, und der ehrenhafte und verdienstvolle Mann alle seine begründeten Hoffnungen gänzlich gescheitert sah, da faßte ihn die Verzweiflung. Eines Tages im Jahre 1802 zu früher Zeit hoben einige Personen auf den Elyseischen Feldern einen von Kugeln durchbohrten Körper auf; der Leichnam war kein anderer, als Lebon. Die geschäftige Welt hatte keine Zeit, nach der Ursache seines Todes zu fragen und die Pläne des Unglücklichen fielen dem Vergessen anheim.

In England war Murdoch nicht viel glücklicher. Erregte auch eine äußerst brillante Illumination der Fabrikgebäude zu Soho, bei Gelegenheit des Friedens von Amiens, die größte Bewunderung und erhielt Murdoch auch 1808 von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften in London die Rumford'sche Medaille als Auszeichnung und Anerkennung, so vermochten alle Anstrengungen doch nicht die Gasbeleuchtung über Fabriken hinaus zu verbreiten. Das war einem kühneren und zäheren Geiste vorbehalten. Winzer, ein deutscher Hofrath, der es aber für gut fand sich den englischen Namen Winsor beizulegen, hatte Murdoch bei seinen Unternehmungen thätig unterstützt und dabei sogleich die Wichtigkeit dieser neuen Beleuchtungsart erkannt. Als er aber, nachdem er das Londoner Publikum durch Vorträge und Schauversuche gewonnen zu haben glaubte, Schritte unternahm, eine öffentliche Beleuchtung dieser Art einzuführen, gerieth er mit den kleinlichen Interessen und Vorurtheilen, welche den Menschen beherrschen, in den hartnäckigsten Kampf. Außer dem Eigennutz der Gewerbetreibenden und der Beschränktheit der großen Menge, welche die Ansammlung brennbarer Gase inmitten volkreicher Städte geradezu für tollkühn erklärte, traten auch achtbare Feinde auf — der gekränkte Murdoch und die ganze gelehrte Welt, der Winsor durch seine Unwissenheit und grenzenlose Aufschneiderei zu große Blößen offenbarte, und dann machten sich auch die Unvollkommenheiten der neuen Beleuchtungsart selbst geltend. Der Merkwürdigkeit halber wollen wir hier eine Kritik aus den 1811 erschienenen Elements of Chemistry des sehr gelehrten und in seinem Vaterlande sehr geachteten John Webster mittheilen. „Es ist zwar wahr", heißt es, „daß man dem Gase dadurch, daß man es durch Kalkwasser strömen läßt, viel von seinem unangenehmen Geruche nehmen kann, allein der ganze Proceß der Gasbereitung ist so mühsam und kostspielig, daß ungeachtet des Werthes, den die gewonnenen Koks und der Theer besitzen, dennoch die meisten wissenschaftlich gebildeten Männer der Ansicht sind, daß die Beleuchtung mit Gas nur als eine Spielerei zu

betrachten sei und dem Publikum im Allgemeinen eben so wenig Nutzen bringen werde, als jenen, die sich in dergleichen Unternehmungen einlassen."

Winsor war nicht der Mann sich schrecken zu lassen. Er besaß genügende Menschenkenntniß und kannte den Hebel zu gut, — die Sucht Geld zu gewinnen, — der die Masse in Bewegung setzt. Sein Rechtlichkeitssinn war nicht groß genug, daß er ihn verhindert hätte, seine Gegner mit gleichen Waffen zu bekämpfen. Nicht die Vortrefflichkeit, sondern die fabelhaften Versprechungen, die man sich heute scheut vorzuführen, waren es, die dem Neuen nach und nach Eingang verschafften. Mit unglaublicher Keckheit führte er zu verschiedenen Malen seine Sache mit beredter Zunge vor dem Parlament, und nach und nach gelangte er, nachdem große Summen in den Versuchen untergegangen waren, dahin, der Gasbeleuchtung mehr Achtung zu verschaffen. Die Gelehrten wurden bekehrt, — Accum, ein heftiger Gegner, wurde nun der eifrigste Lobredner, — die Polizei bekannte laut die Hülfe, welche ihr die neue Beleuchtungsart bei Aufrechthaltung der öffentlichen Sicherheit leistete, Kaufleute und Fabrikanten, deren Ausspruch ein bedeutendes Gewicht beigelegt werden mußte, legten öffentlich ein günstiges Zeugniß ab. 1812 wurde der Anfang mit der Straßenbeleuchtung durch Gas in London gemacht, aber bis 1816 arbeitete die Gesellschaft ohne Gewinn. Sie sah ihren Untergang vor Augen, wenn ihr nicht neue Privilegien zu Theil wurden. Am 1. Juli 1816 erntete Winsor endlich den Lohn eines 13jährigen, überaus erbitterten Kampfes — eine durch Georg III. sanctionirte Bill ertheilte der Gesellschaft ausgedehnte Privilegien. Nun war sie gesichert und rüstiger schritt man zur Ausführung. In dem Westminsterviertel wurden drei große Gasbereitungsanstalten errichtet, denen bald mehrere neue Anlagen in den Vorstädten Londons und in anderen großen Städten Englands folgten. Jetzt machten sich die Vortheile bei den praktischen Engländern bald geltend; die neue Beleuchtung fand immer mehr Anklang, so daß 1823 schon mehrere umfangreiche Gesellschaften in London bestanden. Die Gasleitungsröhren der einzigen Gesellschaft Winsor hatten bereits eine Länge von beinahe 30 deutschen Meilen. 1847 beleuchtete man in England 96 Städte mit Gas, in Schottland jedoch nur 7 und in Irland gar nur 3. Alle diese Unternehmungen repräsentirten ein Anlagekapital von mehr als 6 Mill. Pfd. Sterling.

Winsor hatte Gefallen gefunden an dem Kampfe; als daher das neue Unternehmen in England festen Fuß gefaßt hatte, führte er den Plan aus Frankreich — Paris — zu beglücken. Die Zeit war unglücklich gewählt; die Rückkehr des Verbannten von Elba und die Aufregung der 100 Tage machten jeden Versuch unmöglich. Erst am 1. December 1815 erhielt Winsor dazu Erlaubniß und sogleich stand das ganze Land, wie ein Mann gegen ihn auf. Die französischen Gelehrten — das Institut — eröffneten einen förmlichen, durch mehrere Jahre andauernden Kreuzzug gegen den verwegenen Neuerer und mit ihnen vereinigten sich, den Untergang der französischen Landwirthschaft predigend, die Tagesschriftsteller, unter denen sich besonders der bekannte Charles Nodier durch die Heftigkeit seiner Angriffe auszeichnete. Diesen unaufhörlichen Anfeindungen hatte Winsor nichts anderes gegenüberzustellen als die Uebersetzung einer von Accum, dem Bekehrten, verfaßten Schrift über Gasbeleuchtung, — mehr nur eine Empfehlung des Gaslichtes, die 1816 in England bereits die dritte Auflage erlebt hatte. Die ehrlichen Waffen erwiesen sich als unmächtig gegen die Verblendung,

aber die alten, weniger ehrenwerthen Hülfsmittel halfen auch hier zum Siege, der jedoch keine pecuniären Vortheile brachte, denn nach zwei Jahren, da er seinen Wirkungskreis nicht über das Palais-Royal, den Palast Luxembourg und das Odeon hatte ausdehnen können, mußte Winsor die Arbeit einstellen und seinen Nachfolger hätte das gleiche Geschick ereilt, wenn nicht Ludwig XVIII. geglaubt hätte in der Durchführung dieser glanzvollen industriellen Unternehmung einen mächtigen Bundesgenossen zu finden bei seinem Vorhaben die große Nation, die noch von der Idee des Ruhms berauscht war, nüchtern zu machen. Auf das Zeichen von oben drängten sich die Höflinge beim Unterzeichnen der Actien und es entstand die königliche oder französische Gesellschaft, um nach wenigen Jahren, als der König seinen Zweck erreicht, wieder aufgelöst zu werden. Den neuen Unternehmern folgte dicht auf dem Fuße ein neues Fallissement, bis endlich die Trümmer wieder in die Hände der Engländer Manby-Wilson übergingen. Die Gasbeleuchtung verbreitete sich nur äußerst langsam über die reichen Quartiere hinaus und noch 1839 war es sehr ungewiß, ob zwei neue Gesellschaften für die entfernteren, ärmeren Gegenden der Stadt ihre Rechnung finden würden. Damals gab es in Paris bereits 11,000 öffentliche Gaslaternen und seitdem ist ihre Zahl fortdauernd gestiegen; das Publikum versöhnte sich nicht allein mit dem Neuen, sondern es wurde ihm nach und nach sogar zum Bedürfniß. Und auch hier sprach sich die Polizei auf das Nachdrücklichste zu Gunsten der Gasbeleuchtung aus. Jetzt bestehen in Paris 8 Gesellschaften, deren Anlagekapital 30 Mill. Frcs. repräsentirt.

Zum Ueberfluß machte noch ein speculativer Kopf, ein gewisser Henfrey in Baltimore 1801 die zufällige Entdeckung des Leuchtgases und suchte sogleich seine Beobachtung auszubeuten. Des größeren Aufsehens wegen beleuchtete er ein Boot, das 150 Fuß von der Küste vor Anker lag, mittelst Röhren vom Lande aus; ein Schauspiel, das den Schaaren der zahlreich Herbeigeeilten einen Ruf der Verwunderung entlockte. In der neuen Welt war die Macht der Vorurtheile weniger stark als diesseits des atlantischen Oceans und lange vor London war Baltimore bereits mit Gas beleuchtet.

Unser Vaterland beeilte sich nicht sehr, die Vortheile der neuen Beleuchtungsart für sich auszubeuten. Lebon's Versuche fanden zwar zahlreiche Nachahmungen, selbst in einem größeren Maßstabe in verschiedenen Fabriken, aber dennoch kam es zu einer allgemeinen Verbreitung der Gasbeleuchtung nicht, obgleich auch die Gelehrten hier nicht hindernd, sondern mit Wort und That fördernd wirkten. Noch 1817 experimentirte man von Neuem in Wien im polytechnischen Institut unter Prechtl's Leitung, während doch schon London seit einer Reihe von Jahren ein klares Bild dessen darbot, was zu erreichen war. Der Deutsche hatte damals noch nicht gelernt auf eigenen Füßen zu stehen und daher mußte erst ein mächtiger Anstoß von außen kommen. Industriöse Engländer benutzten diese Gelegenheit sich durch deutsches Geld zu bereichern, und sie waren es, die für eine jährliche Entschädigung von 31,000 Thlr. am 19. September 1826 in Berlin die Gasbeleuchtung für 21 Jahre eröffneten. Nur auf ihren Vortheil bedacht verweigerten sie bei Ablauf des Privilegiums beharrlich jede Ermäßigung, so daß selbst die deutsche Langmuth diesen übertriebenen Forderungen gegenüber ein Ende nahm. Der Berliner Magistrat verdient für den mannhaften Entschluß, sich unabhängig zu machen von dem drückenden Uebermuth Fremder, den Dank eines Jeden, obgleich ein solcher eigentlich nicht schwer zu fassen war, da bereits andere deutsche Städte

— namentlich Dresden und Leipzig — rühmlich vorangegangen waren. Das in Berlin gegebene Beispiel fand Nachahmung: Stettin, Königsberg, Danzig, Elbing, Magdeburg, Breslau haben in neuester Zeit Gasbeleuchtung eingerichtet und andere werden bald folgen. Ueberhaupt läßt sich ein erfreulicher Aufschwung in neuerer Zeit nicht verkennen und selbst kleinere Städte, wie z. B. Güstrow und Gera, haben gezeigt, daß die Gasbeleuchtung auch unter weniger günstigen Bedingungen gedeihen kann, aber dennoch bleibt noch viel zu thun übrig, bevor die Gasbeleuchtung bei uns eine solche Ausdehnung erreicht haben wird, wie in England.

Die Gasbeleuchtung hat bereits ihren Lauf um die civilisirte Welt angetreten. Wenig Jahre nach der Einbürgerung der jugendlichen Erfindung in unserem Vaterlande fand das Gaslicht seinen Weg nach Aegypten. Jetzt prangt die Capstadt, auf der äußersten Spitze Afrikas, in diesem hellen Lichte, das gewiß auch an anderen fernen Orten, wohin Altengland seine siegreiche Macht getragen, Aufnahme gefunden hat. Schauen wir uns um, so finden wir gerade oft da, wo wirklich ungünstige äußere Verhältnisse, die bei uns oft als Deckmantel der Schwachheit dienen, vorhanden sind, diese gehoben. So erfreut sich z. B. Bilbao, die Hauptstadt der baskischen Provinz Biscaya, mit nicht mehr als 20,000 Einwohnern, dieser glänzenden Beleuchtung, während man sich in mancher deutschen Stadt von gleicher Größe und darüber nicht scheut die elend brennenden Oellampen als die vorzüglichste Beleuchtung auszugeben, die nur existirt. Oeffentliche Blätter haben in den jüngsten Tagen die Belege dazu gegeben *).

An vielen Orten entströmen brennbare Gase der Erde in reichlicher Menge. Am bekanntesten sind die sogenannten ewigen Feuer von Baku am kaspischen Meer, ferner die Feuerfontainen der Dauphiné, von denen das Mittelalter zahlreiche Fabeln erzählt, während die alten Römer in dergleichen Gasströmen nichts Uebernatürliches sahen. Besonders reich ist Italien daran in der nächsten Umgegend der Apenninen — zu Pietramala, Velleja, Barigazzo, Bologna und Parma. Aehnliche Beobachtungen sind noch zahlreich in den Cordilleren, Ungarn und Siebenbürgen — zu Klein-Saros und Felsö Bajom, — Griechenland, England, Nordamerika und anderen Orten gemacht. An einigen Stellen hat der Mensch sich diese Naturproducte dienstbar zu machen gewußt, theils zur Beleuchtung, theils zur Feuerung. Der kleine Ort Fredonia, im Staate New-York am Eriesee, be-

---

*) Figuier: Histoire des principales découvertes scientifiques modernes; Paris 1851. Lebon: Thermolampe ou poëles qui chauffent, éclairent avec économie, et offrent, avec plusieurs produits precieux, une force motrice applicable à toute espèce de machines, 1799; von Winsor ins Englische und Deutsche übertragen. Kretschmar: der häusliche und technische Werth der Verkohlungsöfen, ausführlich dargestellt, nebst der Beschreibung zweckmäßiger Einrichtungen; Leipzig 1805. Bünger: Abbildung und Beschreibung einer Thermolampe, nebst einem zweckmäßigen Apparate zur Zimmerbeleuchtung; derselbe: Thermolampe für Apotheker. Gilbert's Annalen: Bd. X. S. 491. Bd. XIII. S. 498. Bd. XV. S. 231. Bd. XXII. S. 51. 72. 79. Bd. XXX. S. 393. Bd. LV. S. 461. Bd. LVIII. S. 116. Wir bemerken hier gleich, daß die reichhaltigste Literatur über Alles, was auf die Gasbeleuchtung Bezug hat, sich in Dingler's polytechnischem Journal vorfindet. Da bereits bis zum 118. Bande zwei sorgfältig ausgearbeitete Generalregister erschienen sind, welche die Orientirung sehr erleichtern, so unterlassen wir es die einzelnen Bände hier besonders aufzuführen.

sitzt eine natürliche Gasbeleuchtung; die Flamme kostet hier jährlich nur $1\frac{1}{2}$ Dollar. In einer Steinsalzgrube bei Nagy-Bagya in Siebenbürgen dient seit 1826 eine natürliche Gasquelle zur Beleuchtung der Verhaue; eine andere auf der Saline Gottesgabe in der Grafschaft Teklenburg dient zur Beleuchtung, zum Heizen und Kochen. Am Großartigsten aber — zu vielen Tausenden — treten diese Feuerquellen — artesische Salzquellen — in der chinesischen Provinz Syn-Tschuan auf; das Gas benutzt man zum Eindampfen der Soole und zum Beleuchten *).

Betrachten wir die verschiedenen Beleuchtungsarten aus wissenschaftlichem Gesichtspunkte, so fallen die dem Anschein nach so großen Verschiedenheiten fort; eine jede Flamme ist nichts anderes als ein brennender Gasstrom, und somit haben alle auf den Namen Gasbeleuchtung Anspruch. Der Unterschied ist nur der, daß bei den Kerzen und Lampen Gaserzeugung und Consumtion zusammenfallen und nicht, wie bei der Gasbeleuchtung dem Raume und der Zeit nach getrennt sind; der Docht vertritt dort die Stelle der Retorte, in welcher hier die Darstellung des Gases als abgesonderte Operation stattfindet. Und somit könnte es scheinen, daß die Gasbeleuchtung eher ein Rückschritt als eine Verbesserung wäre. Wir müssen aber bedenken, daß auf diese Weise Materialien verwerthet werden, die wir sonst nicht zu diesem Zwecke verwenden können und ihr billiger Preis hebt in Verbindung mit den werthvollen Nebenproducten die bedeutenden Kosten der Anlage wieder auf.

Die Körper, deren wir uns zu diesem Zwecke bedienen, müssen der Art sein, daß sie in der Hitze zersetzt werden und zwar zu brennbaren, gasförmigen Producten von solcher Beschaffenheit, daß, während der eine Bestandtheil des Gases verbrennt, der andere in äußerst kleinen, festen Theilchen sich ausscheidet und durch sein Erglühen in der Flamme das Leuchten bewirkt. Dergleichen erhalten wir nun zwar aus den verschiedensten pflanzlichen und thierischen Körpern, aber wenn wir z. B. Holz, Zucker, Fleisch, Fett etc. erhitzen und die brennbaren Gase anzünden, so bemerken wir sehr wohl, daß die Helle bei ihnen eine verschiedene ist. Alle enthalten zwar Kohlenstoff und Wasserstoff, die Elemente zu der Bildung des geeignetsten Gases, aber in einem sehr verschiedenen Verhältniß und daher die verschiedenen Resultate. Aus der Zusammensetzung des Grubengases (CH^2), welches auf einen Gewichtstheil Wasserstoff drei Gewichtstheile Kohlenstoff enthält und des sogenannten ölbildenden Gases (CH), in welchem wir auf das gleiche Gewicht Wasserstoff eine doppelt so große Menge Kohlenstoff finden, erhellt, daß letzteres, weil es beim Verbrennen des Wasserstoffs mehr Kohle ausscheidet, auch eine größere Helle bewirkt. Dieses Gas ist das geeignetste zur Beleuchtung, denn ein größerer Gehalt an Kohle liefert eine rußende und weniger leuchtende Flamme. Die Materialien aber, aus denen wir es rein darstellen können, sind für einen Gebrauch im Großen zu theuer; diese Rücksichten zwingen uns, weniger geeignete zu verwenden. Je mehr nun das Gasgemenge, welches sie liefern, ölbildendes Gas oder an Kohle reichhaltige Gase im Verhältniß zum Grubengas und den anderen brennbaren, aber nicht leuchtenden Gasen enthält, um so zweckentsprechender sind sie.

---

*) Gilb. Ann. Bd. V. S. 204. Bd. VI. S. 163. Bd. XXXVII. S. 1. 30. Bd. LII. S. 345. Poggend. Ann. Bd. VII. S. 131. Bd. XVIII. S. 602. Bd. XIX. S. 560. Bd. XXIII. S. 297.

Am meisten verwendet werden Steinkohlen. Oertliche Umstände erlauben zuweilen die Benutzung anderer Materialien, wie Harze, Erdpech, Fette, Oel und Seifenwasser. Die Darstellung des Gases ist bei den verschiedenen Substanzen eine verschiedene; wir müssen sie daher abgesondert betrachten, wobei wir natürlich mit dem Steinkohlengas anfangen.

Sehen wir von den unorganischen Bestandtheilen der Steinkohle, die beim Verbrennen die Asche liefern, ab, so enthalten sie zwar alle Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff, aber doch in verschiedenen Verhältnissen. Diese verschiedene Zusammensetzung giebt ihnen einen verschiedenen Werth in Hinsicht auf die Verarbeitung zu Leuchtgas; dieser steigt mit dem Gehalt an Wasserstoff oder richtiger vielleicht ausgedrückt mit der Summe der drei flüchtigen Elemente, denn von diesen hängt die Bildung der Gase ab, und ein Gewichtstheil Wasserstoff wirkt hier eben so viel wie die achtfache Menge Sauerstoff. Dann ist noch, wie wir später sehen werden, auf den Gehalt an Schwefel zu achten, je weniger davon darin enthalten ist, um so besser. Der Cannelkohle, die in der Grafschaft Lancashire im Norden Englands und sodann auch in Schottland in der Nähe von Glasgow — hier als Skaterig-, Lesmahagow- und Monkland-Kohle benannt — vorkommt, giebt man allgemein den Vorzug. Dann kommen noch vorzugsweise in England in Gebrauch die bekannten Kohlen von Newcastle und Staffordshire — besonders die Caking-, Cherry- und Splintkohle. Dr. Thomson und Dr. Richardson haben diese Kohlen chemisch untersucht und liefern darüber folgende Tabelle *):

	Auf 1000 Aeq. Kohlen- + Stick- + Sauerstoff kommen	Auf 1000 Aeq. Kohlenstoff kommen
	Aeq. Wasserstoff	Aeq. Stickst. + Wasserst. + Sauerst.
Cakingcoal $C^{127}H^{53}NO^{4}$	401	456
Cherrycoal $C^{121}H^{46}NO^{9}$	374	462
Splintcoal $C^{120}H^{45}NO^{10}$	343	466
Skaterig $C^{102}H^{43}NO^{15}$	364	578
Lesmahagow $C^{110}H^{52}NO^{14}$	416	609
Monkland $C^{111}H^{55}NO^{18}$	408	649

Trotz des hohen Preises bedient man sich auch der englischen Kohlen vielfältig bei uns. Deutschland hat zwar keinen Mangel an sonst guten Kohlen, aber man sagt, zur Gasbereitung seien sie nicht tauglich. Auf sichere wissenschaftliche Untersuchungen, bei denen alle Umstände berücksichtigt sind, stützt sich dieser Ausspruch aber sicher nicht und eben so gut wie Frankreich in reichlicher Menge seine Kohlen verarbeitet, würde man dies auch in Deutschland können, zumal da die Wissenschaft schon hinreichend Mittel an die Hand giebt, etwaige Uebelstände zu beseitigen. Es wäre wohl Zeit diese Frage ernstlich ins Auge zu fassen.

Zur Zersetzung oder Destillation der Steinkohlen dienen die sogenannten Retorten, früher allein aus Eisen, jetzt aber auch aus Thon gefertigt. Die ersteren

*) Phil. Mag. Vol. XXV. p. 164.

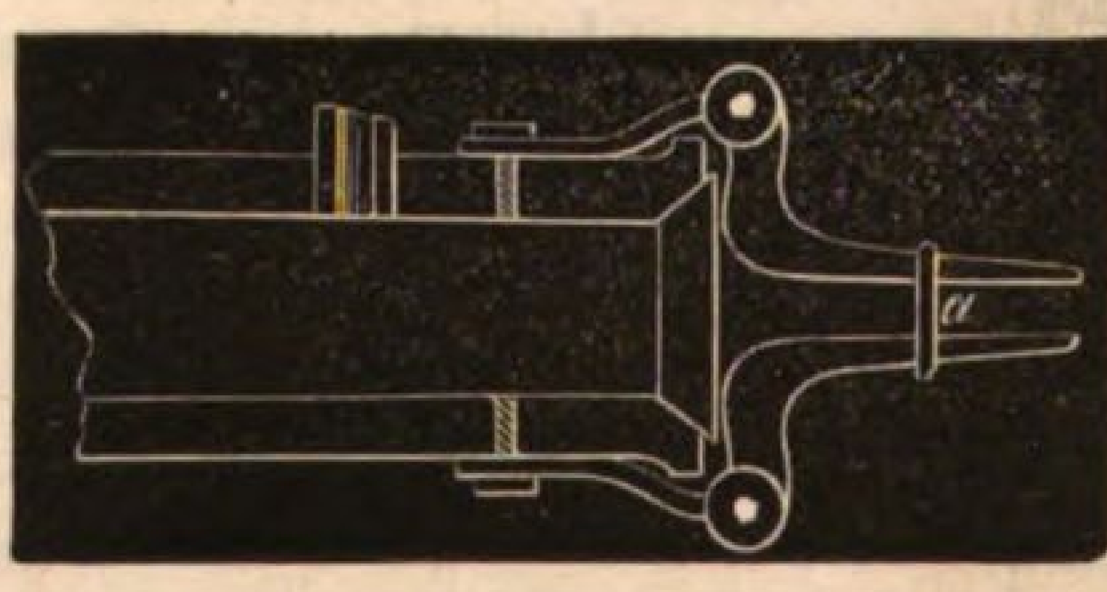
sind 7' lange, 1' weite und 1'' dicke, hinten geschlossene, gußeiserne Röhren, die hinten mit einem kurzen und starken Zapfen in der Richtung der Axe versehen sind. Auf die Menge und Güte der Ausbeute hat nicht allein die Zusammensetzung der Steinkohlen, sondern auch der Gang der Destillation selbst, die Hitze einen großen Einfluß. Daher ist auch die Form der Cylinder nicht gleichgültig. Es kommt hierbei darauf an, die glühende Oberfläche zu vergrößern, auf daß alle Kohlen möglichst gleichzeitig damit in Berührung kommen. Dies erreicht man durch die elliptische Form mit gleichzeitiger Einbiegung der unteren Flächen oder man giebt den Retorten eine rechtwinklige Form mit abgerundeten Ecken, wie dies die Fig. I., 1 bis 3 verdeutlichen. Die Retorten liegen nur theilweise im Feuer; deshalb fertigt man

I.



sie aus zwei Stücken und schraubt diese zusammen, weil der Körper, der im Feuer liegt, mit der Zeit schadhaft wird und ausgewechselt werden muß, wobei dann der Hals, der Theil außerhalb des Feuers, erspart wird. Der Beschickung und Entleerung wegen wird der Hals vermittelst einer Schraube und eines Bügels durch einen losen, aber dicht anliegenden Deckel verschlossen und dann noch verkittet. Ein anderer Mechanismus sind zwei gebogene Hebel, die durch einen Ring a Fig. II. angezogen werden und nun mit ihren Knieen den Druck ausüben. In neuerer Zeit wendet man — besonders in England und Belgien, — auch Retorten von feuerfestem Thon an; an Dauer kommen sie den eisernen gleich, übertreffen diese oft sogar noch, und man spart $1/_3$ am Preise. Sie haben aber den Nachtheil, daß sie nicht gut den Temperaturwechsel aushalten; sind sie daher einmal angefeuert, so müssen sie auch stets im Gange gehalten werden. Deshalb baut man in neuerer Zeit die Retorten aus feuerfesten Steinen; die Fugen werden mit Thon verstrichen. Wird eine solche Retorte schadhaft, so läßt sich leicht der betreffende Stein herausnehmen und durch einen anderen ersetzen, ohne daß deshalb der Ofen außer Gang gesetzt werden und sich abkühlen muß. Diese Retorten haben bereits zum Theil die eisernen aus den Anstalten in England verdrängt. Clift führt von ihnen an, daß er 12 Paare 10 Jahre lang unausgesetzt im Betriebe gehalten habe. Zwölf andere Oefen mit steinernen Retorten sind seit 1844 im Gange und noch im guten Zustande. Die Reparaturkosten für Retorten und Oefen betrugen hier seit der Einrichtung durchschnittlich für das Jahr und den Ofen wenig über 4 Thlr. Besonders vortheilhaft soll es sein, thönerne und eiserne Retorten in einem Ofen so zu ordnen, daß die größte Hitze die ersteren trifft. Hier halten die eisernen Retorten durchschnittlich zwei Jahre aus.

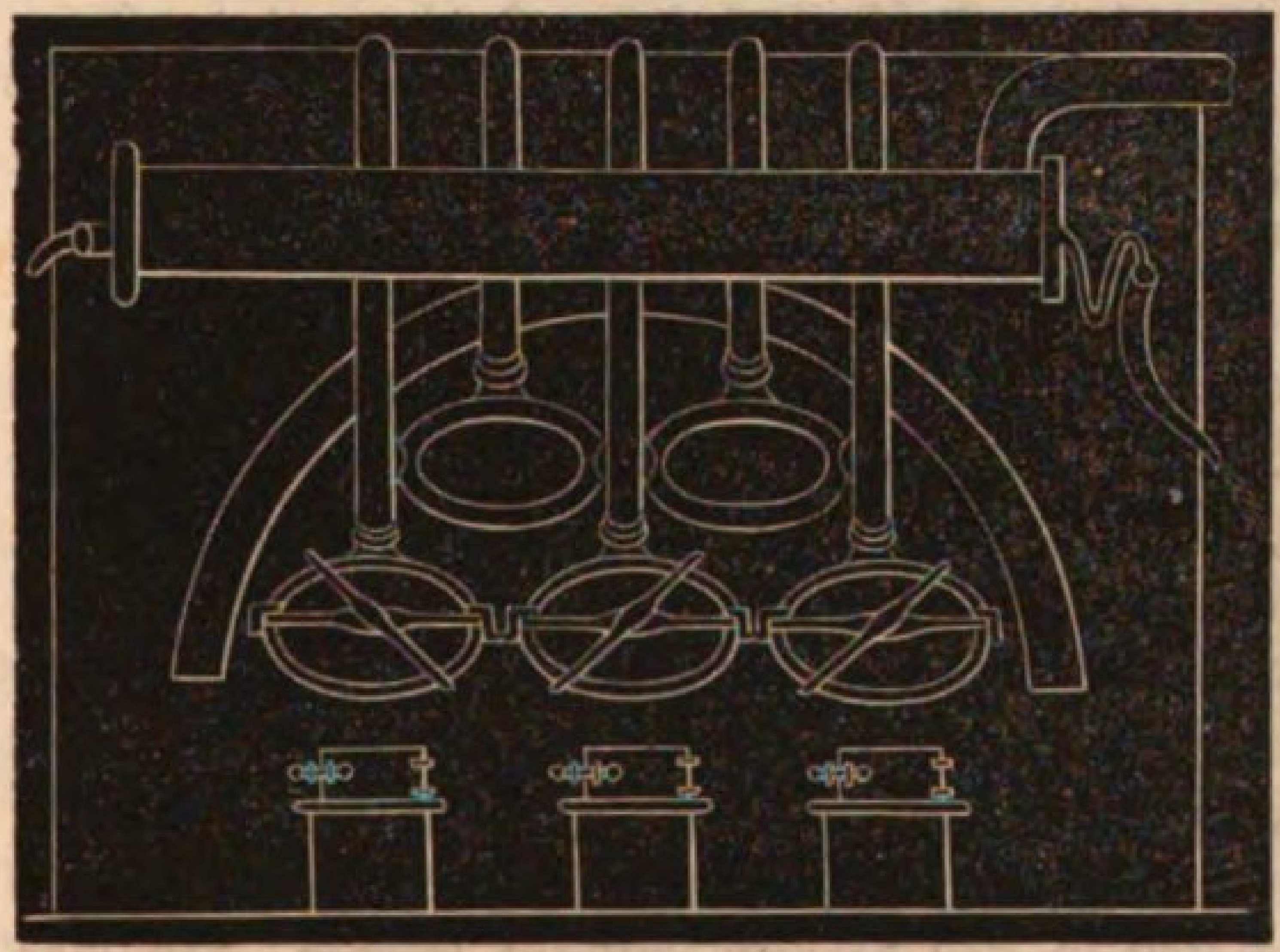
II.



Die Retorten liegen nun zu fünf, sieben, ja zu zehn, in zwei oder drei Reihen, in einem Ofen mit einer oder mehreren Feuerungen. Solcher Oefen liegen mehrere neben einander, wiederum in zwei Reihen, so daß die Rückwände an

einanderstoßen. Aus dem Halse der Retorten steigen Gasleitungsröhren senkrecht in die Höhe, krümmen sich an ihrem oberen Ende um und münden in einen horizontal liegenden weiten Cylinder, die Vorlage, die zur theilweisen Aufnahme der neben den Gasen gleichzeitig mit übergehenden flüssigen Producte dient. Diese ist bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser gefüllt und die Mündung der Gasleitungsröhren taucht in dasselbe hinein, wodurch die Communication der Retorten unter sich vollkommen abgesperrt wird. Die Menge der Sperrflüssigkeit wird durch den sich absetzenden Theer beständig vermehrt, und da das Gas seinen Weg hindurch nehmen muß, hat man dafür zu sorgen, daß die Flüssigkeit nicht zu hoch steigt und der Druck, den das Gas zu überwinden hat, zu groß wird. Daher befindet sich an der Seite ein Abflußrohr, durch welches der Theer und das ammoniakalische Wasser fortwährend in einen großen Sammelbehälter geleitet wird, in welchem sich Theer und Wasser bald sondern, so daß sie zeitweise in besondere Behälter abgelassen werden können. Beistehende Figur stellt die vordere Ansicht eines Retortenofens dar. Mit Hülfe des Vorstehenden ist die Abbildung verständlich. Die beiden oberen Retorten sind geöffnet, um wieder beschickt zu werden.

Die Beschickung einer Retorte beträgt bis zu 200 Pfund; sie producirt circa 3500 Cubikfuß Gas in 24 Stunden. Man richtet es so ein, daß die Zersetzung nicht in allen Retorten gleichmäßig statt hat; während sie in einigen erst beginnt, ist sie in anderen bereits vorgeschritten oder ihrem Ende nahe. Des Verschlusses in der Vorlage wegen kann jede Retorte beliebig geöffnet, also entleert und beschickt werden. Ersteres geschieht sehr schnell; den Rückstand oder vielmehr den Theil, welcher nicht zur Feuerung verwendet wird, löscht man ab, und zwar in gemauerten Gruben, die verdeckt werden, weil hierbei viel Staub emporgerissen und übelriechendes Schwefelwasserstoffgas entwickelt wird, wodurch die Gasbereitungsanstalten mitten in Städten eine große Plage für die Nachbarschaft werden würden. Staub und Gase leitet man in den Kamin zum Verbrennen. Um nun dies Füllen der glühenden Retorten in möglichst kurzer Frist zu vollbringen und somit Verlusten vorzubeugen, bedient man sich eines einfachen Instrumentes, einer Schaufel aus Eisenblech von der Länge der Retorte und genau nach der Form derselben gebogen. Die Schaufel wird vorher mit den nöthigen Kohlen gefüllt, die in der Nähe des Ofens aufgeschichtet liegen und kann leicht von zwei Arbeitern mittelst eines untergeschobenen Eisenstabes aufgehoben und in die Retorte eingeschoben werden, während ein dritter an dem Quergriff des langen Stieles gleichsam die Stelle eines Steuermannes versieht. Sie ist eben so rasch umgekehrt und wieder entfernt; der weitere Verschluß liegt vorbereitet zur Hand und die ganze Arbeit ist vollendet, wenn die Kohlen eben anfangen sich zu entmischen.



Als Feuerungsmaterial dienen theils Steinkohle, theils der Destillationsrückstand, die Koks. Gewöhnlich braucht man an Kohlen die Hälfte der zu zersetzenden; im Hospital zu St. Louis in Paris stellte sich der Bedarf auf $^{14}/_{25}$ heraus. Bessere Construction der Oefen und Retorten hat das Feuermaterial bedeutend herabgesetzt, so daß man jetzt bei gutem Betriebe nur 18 bis 20 Proc. der zu zersetzenden Kohle rechnet. Mit circa $3^1/_2$ Ctr. gewinnt man 12,000 Cubikfuß Gas. Wendet man beim Heizen erwärmte Luft an, d. h. führt man die Luft, welche zum Unterhalt des Feuers nothwendig ist, mittelst Röhren so in den Feuerraum, daß sie durch die in das Kamin abziehende heiße Luft erwärmt wird, so kann man $^2/_3$ der als Rückstand bleibenden Koks verkaufen, indem das letzte Drittel zum Betrieb der Anstalt hinreicht. Bringt man nun noch beim Entleeren die glühenden Koks sogleich ins Feuer, so spart man weitere 10 Proc. an Brennmaterial, indem nun nicht eine entsprechende Wärmemenge verloren geht, die sonst erforderlich gewesen wäre, die Kohlen bis auf diese Temperatur zu bringen. — Früher benutzte man auch den Theer als Brennmaterial, der in einem dünnen Strahl auf die brennenden Kohlen floß. Doch jetzt möchte dies nicht mehr vorkommen, da, wie wir später sehen werden, die Wissenschaft Mittel und Wege genug an die Hand giebt, den Theer anderweit mit größerem Vortheil zu verwerthen.

Der Zersetzungsproceß ist je nach der Beschaffenheit der Kohlen und der Form der Retorten in 5, 6 bis 8 Stunden beendet. Der Hitzegrad, bei welchem dieser ausgeführt wird, hat einen großen Einfluß auf die Menge und Güte des producirten Leuchtgases. Durch die Erfahrung hat sich die lebhafte Kirschrothgluth am Vortheilhaftesten herausgestellt. Ist die Hitze eine geringere, so verflüchtigt sich eine größere Menge Theer, welcher, wenigstens theilweise, bei größerer Hitze noch Gase geliefert hätte. Ist die Hitze zu groß, so verliert das Kohlenwasserstoffgas einen Theil seines Kohlenstoffs, der sich an die heißen Wände der Retorte theils in haarförmigen Gestalten, theils in Form von Stalaktiten, am meisten aber in dichten harten Schichten, die dem Graphit ähnlich sind und Eisen enthalten, absetzt. Ganz kann diese Zersetzung des eigentlichen Leuchtgases nie vermieden werden, da das Kohlenwasserstoffgas immer mehr oder weniger mit den glühenden Wänden der Retorte in Berührung kommt, deshalb muß dieser Ansatz, der das Innere der Retorte verengt, von Zeit zu Zeit dadurch entfernt werden, daß man während des Erhitzens Luft einströmen läßt. Der Luftstrom verzehrt den Ansatz, d. h. die Kohle verbrennt. Die Ausscheidung der Kohle ist ein Grund mit zur Zerstörung der Cylinder. Die anderen Feinde sind der in der Steinkohle enthaltene Schwefel, der sich mit dem Eisen zu leicht schmelzendem Schwefeleisen verbindet und der Sauerstoff der Luft, der das Eisen von außen angreift, indem es förmlich verbrennt, so daß der Glühspan in 3 bis 4 Linien dicken Schichten abschiefert. Am nachtheiligsten wirkt der kalte Luftstrom, der beim Schüren des Feuers auf die glühend heiße Retorte trifft. Deshalb bringt man besondere Schürlöcher an der hinteren Seite des Ofens an in der Verlängerung des Schornsteins, so daß die Luft, ohne die Retorten zu treffen, in den Kamin entweicht. Diesen vereinten, von Innen und Außen wirkenden Feinden unterliegt selbst das Eisen; in 12 bis 18 Monaten ist die Retorte vollständig zerstört.

Die Zersetzung der Kohle geht nicht gleichmäßig vor sich; die Menge der gasförmigen Producte ist nicht in gleichen auf einander folgenden Zeiträumen dieselbe

und die Güte des Gases nimmt mit der Zeit auch ab. In der ersten Stunde entwickelt sich die größte Menge Gas; sie nimmt mit jeder Stunde ab, und zwar in einem solchen Verhältniß, daß am Ende ein gleicher Raum Gas $2^1/_2$ Mal mehr kostet als zu Anfange. Nach der fünften Stunde wird nur die Menge des Gases vermehrt, aber nicht die Güte. Dauert die Einwirkung des Feuers über die angegebene Zeit hinaus, so erhält man zwar immer noch Gas, aber nur solches, welches kein Leuchtvermögen mehr besitzt, weil hier die Umstände der Art sind, daß das sich bildende Leuchtgas gleich wieder zersetzt wird. Um diesem Uebelstande vorzubeugen, sind verschiedene Vorschläge laut geworden. Hierher gehören die drehbaren Retorten, durch welche die Kohlen dem Feuer allmälig genähert und wieder daraus entfernt werden; dann auch der Vorschlag von Heginbotham, nach welchem die Kohlen mittelst einer drehbaren Schraube langsam durch den ganzen Cylinder bewegt werden sollten — die Praxis ist nicht darauf eingegangen; sie hält diese Einrichtungen für zu künstlich.

Die Vorgänge bei der Zersetzung sind in früherer Zeit von Henry in Manchester genau untersucht worden. Vor der Kirschrothgluth gingen fast nur Wasserdampf, Luft und sehr wenig Leuchtgas über, dann aber das Leuchtgas reichlich. Die gasförmigen Producte der Destillation hatten in den verschiedenen Perioden folgende Zusammensetzungen:

	Oelbildendes Gas	Gruben-Gas	Kohlenoxyd	Wasserstoff	Stickstoff
	in 100 Th. Gas aus Wigan-Cannel-Kohle:				
in den ersten Stunden	13	82,5	3,2	0	1,3
	12	72	1,9	8,8	5,3
	12	58	12,3	16	1,7
in der fünften Stunde	7	56	11	21,3	4,7
in der zehnten Stunde	0	20	10	60	10

Ueber das vorwiegende Auftreten des Wasserstoffgases gegen Ende der Operation belehrt uns eine Untersuchung von Marchand *) über das Verhalten des ölbildenden Gases gegen glühende Umgebungen. Er leitete solches durch ein bei verschiedenen Temperaturen glühendes Rohr und fand, daß das am Ende des Rohres austretende Gas auf 100 Wasserstoff folgende Mengen von Kohlenstoff enthielt:

Kohlenstoff	Natur des Gases und Temperatur	Kohlenstoff	Natur des Gases und Temperatur
614	ölbildendes Gas.	367	
580	Rothglühhitze.	325	heftige Weißglühhitze.
533		307	Grubengas.
472		7	anhaltende Weißglühhitze.
			fast reines Wasserstoffgas.

*) Journ. für prakt. Chem. Bd. XXVI. S. 478.

Die Ausbeute an Gas, abhängig von der Zusammensetzung der Kohle und von der angewendeten Hitze, fällt daher an Menge und Güte sehr verschieden aus. Wir wollen hier einige Resultate zusammenstellen. An die Spitze stellen wir einen Bericht Hedley's an das Parlament aus den Jahren 1834 bis 37.

	Ort der Kohle	100 Pfd. geben Cubikfuß Gas	100 Pfund hinterlassen dabei Koks	Dauer der Destillation, Stunden	Anstalt, in der die Beobachtungen angestellt
Besondere Versuche im Großen von Hedley angestellt	Deane-Kohle von Cumberland	869,78	beinahe einen Scheffel	6	Alliance Comp. in Dublin
	Carlisle Kohle (Blenkinsopp)	998,52	71 Pfd.	6	
	Gleiche Theile Cannel- und Cardiffkohle	824,50	60 Pfd.	4	
Resultate des gewöhnlichen Betriebes	Lump Kohle von Westbromwich	582,23	66 Pfd.		Birmingham Comp.
	Wigan-, Cannel-, Oldham-, Watergat-Kohle gemischt	853,90	beinahe einen Scheffel		Manchester.
	Wigan-Kohle, Grus	741,04	1,1 Scheffel		Liverpool a. Comp.
	Wigan-Cannel-Kohle	853,90			" " "
	Derbyshire Kohle	680,88			Leicester.
	Newcastle Kohle	753,92			London.

Weitere Resultate für die angegebene Menge Kohle: Lesmahagowkohle = 450 englische Cubikfuß oder $^1/_5$ des Gewichts, $^2/_5$ betragen die anderen flüchtigen Producte (Wasser und Theer) und $^2/_5$ die Koks; nach Accum 681,36 bis 342,5 Cubikfuß, je nachdem Cannelkohle oder Staffordshirekohle angewendet; Clegg giebt für dieselben Kohlen 645 bis 429 Cubikfuß an; im Hospital St. Louis in Paris 448,18 Cubikfuß und nach Prechtl 636,36 Cubikf. Dem Gewichte nach beträgt die Ausbeute 12 bis 17 Proc. Diese Angaben sind natürlich nur einseitig, da sie auf den Werth des Gases keine Rücksicht nehmen.

Ueber die Ausbeute in verschiedenen Epochen der Destillation hat Peckston Versuche angestellt. 27 Centner Newcastlekohle in 18 Retorten vertheilt lieferten in der 1. Stunde 2000, in der 2. 1495, in der 3. 1387, in der 4. 1279, in der 5. 1189, in der 6. 991, in der 7. 884 und in der 8. Stunde 775 engl. Cubikfuß Gas; in 8 Stunden also 10,000 oder 100 Pfd. 336,63 engl. Cubikf. Wurde dieselbe Menge Kohle in 6 Stunden abdestillirt, so erhielt man nur 8300 Cubikfuß Gas oder von 100 Pfd. 279,46 Cubikf. — In Berlin rechnet man von einer preuß. Tonne (= 4 Scheffel) Newcastle- und Sunderlandkohlen durchschnittlich 1550 engl. Cubf. Gas.

Man hat ganz unterlassen den interessanten Proceß der Gaserzeugung, der auf rein chemischer Grundlage ruht, genau zu studiren und daher hat auch dieser unbedingt wichtigste Theil der Gasfabrikation im Laufe der Zeit so wenig Fortschritte gemacht. Seit Henry's Untersuchungen sind keine weiter angestellt worden, obgleich die Methoden der Gasanalysen seitdem durch Bunsen, Kolbe,

Regnault u. A. bedeutend erweitert und verbessert worden sind. An sogenannten praktischen Versuchen hat es freilich nicht gefehlt, aber solche sind wenig geeignet Einsicht zu gewähren und daher sind ihre Vortheile auch von keiner Bedeutung. Ungeachtet der Fortschritte der Wissenschaft steht man hier noch auf demselben Punkte wie früher, gerade nicht ein sehr ehrenwerthes Zeugniß für die Leiter derartiger Anstalten.

In der Vorlage werden die heißen Gase nicht so bedeutend abgekühlt, daß sich alle Theer- und Wasserdämpfe condensiren, d. h. in flüssiger Form wieder ausscheiden, und doch muß dies geschehen, weil sich sonst später zahlreiche Uebelstände herausstellen würden. Deshalb nimmt das Gas nun seinen Weg durch einen anderen Apparat, der der Condensator oder Abkühler genannt wird. Die Einrichtung ist sehr verschieden; im Allgemeinen ist es ein weitläuftiges Röhrensystem, das durch einen Strom von kaltem Wasser abgekühlt wird. Gemeinhin stehen die eisernen Röhren in Reihen aufrecht auf einem Kasten mit doppeltem Boden; der durch letztere gebildete Raum ist wieder durch senkrechte Scheidewände, die nicht ganz den unteren Boden erreichen, in Zellen getheilt, so daß in jede derselben zwei Röhren einmünden, die wieder oben mit einander verbunden sind. Durch dieses Röhrensystem passirt das Gas hindurch und setzt Wasser und Theer beim Abkühlen ab, die sich in dem unteren Raume ansammeln und von hier in den allgemeinen Sammelbehälter abfließen. Im Winter reicht die niedrige Temperatur der Luft zur Abkühlung aus; es kommt dann zuweilen vor, daß sich die Röhren durch einen Ansatz von festem kohlensauren Ammoniak verstopfen. Durch heißen Wasserdampf wird das Hinderniß gehoben.

Man hielt früher eine Oberfläche aller Leitungen von der Retorte an mit dem Condensator einschließlich, die doppelt so groß war als die Heizfläche sämmtlicher zu einem Systeme verbundenen Retorten, für ausreichend, um alle Dämpfe, die condensirbar sind, zu entfernen. Die Praxis fand diese aber nicht genügend und deshalb hat man in das Leitungssystem vor dem Condensator noch einen anderen Apparat zu gleichem Zwecke eingefügt. Die Form ist hier vierseitig prismatisch; der Apparat ist mit einem Mantel umgeben. Zwischen beiden tritt das Gas ein und kommt auf seinem Wege bis in den Apparat selbst mit einer sehr bedeutenden Oberfläche in Berührung, die sehr wirksam zur Abkühlung beiträgt. Eine zweite noch viel bedeutendere Condensationsoberfläche findet das Gas in dem Apparate selbst, der mit Koks gefüllt ist, durch welche das Gas gleichsam hindurchfiltrirt. In Berlin beobachtete man, daß ein Gas, welches bei einer Lufttemperatur von — 1^0 R., mit einer Wärme von 25^0 R. in den Apparat eintrat, bei seinem Austritt $20^1/_2{}^0$ R. von seiner Wärme verloren hatte.

Dieser mechanischen Reinigung muß nun eine chemische folgen. Um deren Bedeutung zu verstehen, haben wir zuerst die Natur des bei der Zersetzung der Steinkohlen erhaltenen Gases zu erläutern. Bei der anhaltenden Einwirkung der Hitze wird die chemische Verwandtschaft, welche die Elemente der einzelnen complicirten organischen Verbindungen zusammenhält, gelockert, so daß sich nur eine Reihe von einfacher zusammengesetzten Körpern bildet. Das resultirende Gas ist ein Gemenge der verschiedensten Arten. Nach Abscheidung des ammoniakalischen Wassers und des Theeres finden wir noch darin: die beiden Kohlenwasserstoffgase, reines Wasserstoffgas, Kohlenoxyd, Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, flüchtige Ammoniakverbindungen, Cyan, Schwefelcyan, schweflige

Säure, Chlorwasserstoffsäure und Stickstoff. Die in den Kohlen enthaltene Feuchtigkeit wird durch die glühenden Kohlen zersetzt, der Sauerstoff verbindet sich mit der Kohle zu Kohlensäure und Kohlenoxyd. Der Stickstoff geht bei seinem Ausscheiden aus den organischen Gebilden in der Kohle theils mit der Kohle zu Cyan, theils mit Wasserstoff zu Ammoniak zusammen. Der freie Stickstoff in dem Gase rührt von der atmosphärischen Luft her, die in den Steinkohlen eingeschlossen war.

Dieses Gemenge nun läßt sich in drei Abtheilungen scheiden, in die eigentlich leuchtenden Gase, in die brennenden, aber nicht leuchtenden und in die schädlichen. In die erste Classe gehört das ölbildende Gas. Neuere Untersuchungen haben wahrscheinlich gemacht, daß dieses Gas eine Reihe anderer von gleicher procentischer Zusammensetzung, aber mit verschiedener Anordnung der einzelnen Theilchen, — sogenannte polymere Verbindungen, — als Amylen ($C^{10} H^{10}$), Propylen ($C^6 H^6$) und Butylen ($C^8 H^8$) enthält *). Früher rechnete man auch hierzu das Grubengas; dies trägt jedoch der neueren Ansicht gemäß durchaus nichts mit zum Lichte bei. Wir stellen es daher mit dem Wasserstoff und dem Kohlenoxyd in die zweite Classe. Man hat diese Gase die indifferenten, gleichgültigen genannt; wir werden aber später sehen, daß sie, wenn sie auch nichts zur Helle des Lichtes beitragen, dennoch einen wesentlichen Dienst leisten. Die übrigen Gase nun, wenn auch brennbar, wirken schädlich und müssen daher entfernt werden.

Die Schwefelverbindungen belästigen durch ihren unangenehmen Geruch, wenn sie unverbrannt entweichen, sie schwärzen Metalle und Anstriche mit Bleiweiß, indem sich Schwefelverbindungen bilden und zerstören auch zarte Farben in der Decoration der Zimmer. Eben so schädlich ist das Verbrennungsproduct derselben, die schweflige Säure. Und somit ist die Reinigung des Gases unbedingt die wichtigste Operation und mit der äußersten Sorgfalt auszuführen. Die Wissenschaft hat hinreichend Mittel an die Hand gegeben, die lästigen Beimengungen zu entfernen. Wenn in dieser Hinsicht daher Klage geführt wird, so hat nur eine Nachlässigkeit bei der Reinigung stattgefunden.

Gerade hier sind eine Unmasse von Vorschlägen zu Tage getreten und mancherlei Abänderungen haben im Laufe der Zeit stattgefunden, in deren Details wir nicht eingehen können. Um die Schwefelverbindungen und die Kohlensäure fortzuschaffen, dient am zweckmäßigsten gebrannter Kalk. Früher wandte man diesen mit Wasser an, so daß das Gas durch eine Flüssigkeit hindurch gehen mußte. Hierbei aber trat der Uebelstand ein, daß durch den Widerstand, den das Gas beim Durchgange durch die Flüssigkeit zu überwinden hat, der Druck auf die Retorten zu groß wurde, so daß in diesen eine bedeutende Menge Gas durch verschiedene Fugen einen Weg nach außen fand, also verloren ging. Verschiedene Umstände, die nicht zu beseitigen sind, als die verschiedenen Flüssigkeiten, die das Gas auf seinem Wege zu passiren hat, die Reibung beim Durchgange durch das ganze Röhrensystem und das Gewicht des Gasometer — Gasbehälter oder Ansammler, den das Gas zu heben hat, wirken schon nachtheilig genug, so daß jedes weitere Hinderniß sorgfältig zu entfernen ist. Um nun diesen rückwirkenden Druck möglichst zu vermindern, müssen die Gasanstalten an einen möglichst niedrigen Ort gelegt werden. Wo dies nicht geschehen kann, wird das Gas durch einen eigenen Apparat

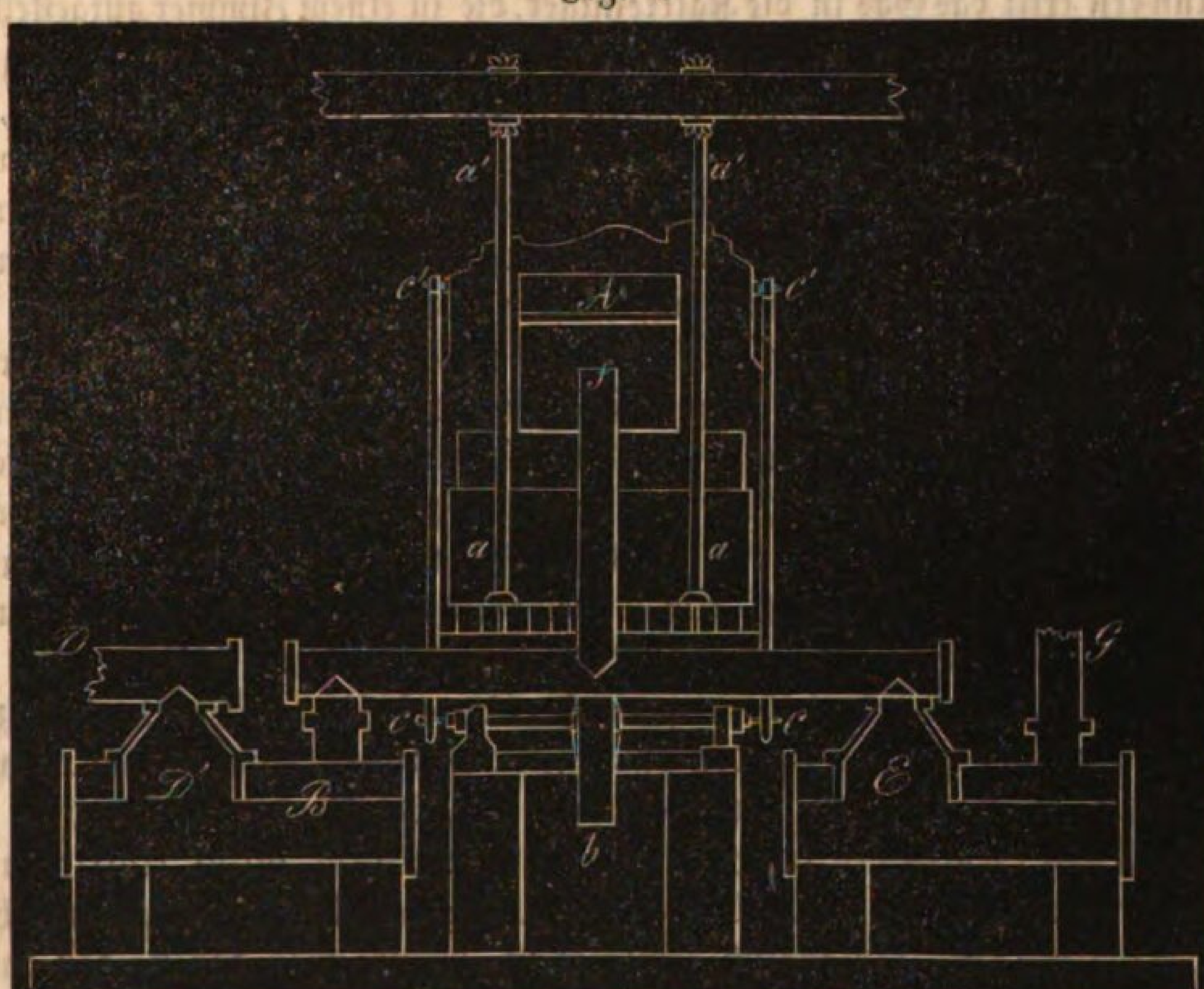
*) Schloßberger, Lehrbuch der organischen Chemie. 2. Aufl. 1852. S. 216.

aus den Retorten aufgesogen und durch mechanische Kraft in die weitere Leitung hineingedrückt *).

Pauwels hat für die Compagnie Parisienne folgende Einrichtung construirt. Drei Glocken, welche durch die Drehung einer Kurbel abwechselnd gehoben und niedergedrückt werden, saugen das Gas aus den Retorten aus und drücken es durch Röhren in den Regulator, aus dem es seinen Weg in den Condensator nimmt. Die nöthige bewegende Kraft wird leicht von der durch das Kamin verloren gehenden Wärme beschafft. Die Abbildungen Fig. I. und II. geben die Einrichtung einer dieser Saugglocken an.

Die Glocke A (Fig. I.) wird durch die Drehung der Welle c c mit Zahnrad b mittelst Kurbel und Zugstangen c′ c′ abwechselnd gehoben und gesenkt, wobei sie

Fig. I.



durch die Stangen a′ a′ geleitet wird, welche durch zwei offene Röhren gehen. Hebt sich die Glocke, so saugt sie das Gas aus der Vorlage D an, es tritt durch D′ in den halb mit Wasser gefüllten Cylinder B und von hier durch das Rohr f unter die Glocke. Sobald diese herunter geht, sperrt das Wasser die Röhre D′ und das Gas entweicht nun durch E und das Wasser des Cylinders g in den Regulator. Dies ist ein Behälter von Eisenblech, der mit Theer haltendem Wasser gefüllt ist, in welches eine Glocke taucht. Aus diesem Regulator saugen die Glocken einen Theil des Gases wieder aus, da die Retorten nicht so viel liefern, als sie zur Totalwirkung gebrauchen, pumpen es aber gleich wieder dahin zurück.

II.



*) Payen's Gewerbschemie, übersetzt von Fehling. 2. Aufl. S. 609.

Der Kalk entzieht wohl den Schwefel und die Kohlensäure, aber das Ammoniak vermag er nicht zu binden. Eine große Reihe von Vorschlägen hat in der Praxis keinen Beifall gefunden; wir übergehen sie hier und wenden uns zu der einfachsten Vorrichtung, die von Turner angegeben und von Croll praktisch eingeführt worden ist. Das Gas geht zuerst durch Schwefelsäure, die mit dem 400fachen Gewicht Wasser verdünnt ist; eine stärkere Säure darf man nicht anwenden, weil diese sonst nachtheilig auf die Kohlenwasserstoffe einwirken würde. Zwei cylindrische Apparate von 10 Fuß Durchmesser und 3 F. Höhe, in denen die Flüssigkeitsschicht 8 Zoll beträgt, sind mit einander verbunden; ist die Säure in dem einen gesättigt, so wird sie erneuert und nun läßt man das Gas in den frisch gefüllten Behälter zuletzt eintreten. In 24 Stunden reinigt man so 500,000 Cubikfuß Gas, wobei alle drei Tage eine Erneuerung eintreten muß.

Nun erst tritt das Gas in die Kalkreiniger, die in einem Zimmer aufgestellt sind. Der Bequemlichkeit wegen ist dieses in der halben Höhe der Apparate abgetheilt, so daß das untere Stockwerk einen leichten Zutritt zu den Leitungsröhren, durch welche das Gas zu- und abströmt, gewährt und vom oberen aus das Entleeren und Füllen der Apparate sehr bequem bewerkstelligt werden kann. In größeren Gaswerken finden sich sechs bis acht Reiniger, die den Schwefelsäurebehältern in Form und Größe gleichen. Ihre Einrichtung ist folgende: Der Deckel hat einen umgebogenen Rand, der in eine mit Wasser gefüllte Rinne einpaßt und so einen hinreichenden Verschluß herstellt. Durch Flaschenzug und Gegengewicht kann der Deckel leicht aufgehoben und wieder hinabgelassen werden. In dem Apparate befinden sich mehrere, bewegliche Horden über einander, auf die der Kalk ausgebreitet und mit Wasser benetzt wird, jedoch nicht zu sehr, weil dadurch der Durchgang des Gases bedeutend erschwert wird. Am Boden tritt das Gas ein, strömt durch die verschiedenen Horden hindurch und zieht durch eine Röhre, die bis über die oberste Horde hinaufreicht, wieder ab, um so nach und nach sämmtliche Reiniger zu passiren. Der Zutritt des Gases zu den einzelnen Apparaten kann abgesperrt werden, um mit diesen die Entleerung vorzunehmen. Hierbei ist die Anordnung so getroffen, daß das Gas in den frisch gefüllten Apparat stets zuletzt eintritt und dadurch wird ein beständiger Wechsel in der Stellung der einzelnen Apparate hervorgerufen. Ob das Gas hinlänglich gereinigt ist, erkennt man daran, daß das austretende Gas, durch eine Lösung von essigsaurem Bleioxyd geleitet, in dieser keine Schwärzung von Schwefelblei mehr erzeugt.

In neuester Zeit empfiehlt Chisholm *) zur Reinigung des Gases statt des Kalkes ein Gemenge von gleichen Theilen Kohle und Kochsalz. Er will auf diese Art Salmiak und Soda gewinnen. Der Vorschlag bedarf jedoch der Prüfung; daß er in England patentirt ist, sagt gerade nicht sehr viel.

Untersuchungen, welche uns über die Zusammensetzung des gereinigten Leuchtgases belehren, existiren sehr wenige. Wir führen hier die von Thomson **) und Richardson ***) an, obgleich die Methoden, nach denen sie ausgeführt worden sind, wohl wenig Vertrauen verdienen. Ersterer untersuchte das Gas von

*) Chem. Gaz. 1854. p. 39.
**) Phil. Mag. Vol. XXV. p. 167.
***) Phil. Mag. Vol. XXVII. p. 25.

Glasgow und Greenock aus Cannelkohle (a, b, c, d), letzterer das von Newcastle (e, f).

	a	b	c	d	e	f
Oelbildendes Gas	14,88	14,15	16,66	22,15	10,19	9,25
Grubengas . .	60,60	66,49	59,94	48,77	31,35	36,05
Wasserstoff . .	12,44	12,29	11,46	17,32	28,80	30,17
Kohlenoxyd . .	12,00	7,07	12,00	11,76	16,28	11,42
Stickstoff . . .	—	—	—	—	13,35	14,01
	99,92	100,00	100,06	100,00	99,97	100,90.

Zuverlässiger sind die von Frankland in neuester Zeit ausgeführten Untersuchungen *) des Leuchtgases, welches von verschiedenen Gaswerken in Manchester und London abgegeben worden. Das Gas A ist aus Hulton Cannelkohle, B, C und E aus Newcastle Steinkohle und F aus Newcastle Cannelkohle gewonnen.

Procentische Zusammensetzung der Gase:

	A	B	C	D	E	F
Oelbildendes Gas	5,50	3,05	3,56	3,67	3,53	13,06
Grubengas . .	40,12	41,50	35,28	40,66	35,25	51,20
Wasserstoff . .	45,74	47,60	51,24	41,15	51,81	25,82
Kohlenoxyd . .	8,23	7,32	7,40	8,02	8,95	7,85
Kohlensäure . .	0,41	0,53	0,28	0,29	—	0,13
Stickstoff . . .	Spur	Spur	1,80	5,01	0,38	1,51
Sauerstoff . .	Spur	Spur	0,44	1,20	0,08	0,43
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00.
Leuchtkraft . . .	14,3	13	14,1	11,5	14,4	34,4

Kerzen bei einem Verbrauch von 5 Cubikfuß Gas in der Stunde.

Bevor wir dem Leuchtgase auf seinem weiteren Wege folgen, wollen wir zur Darstellung des Leuchtgases aus anderen Substanzen, besonders Oel und Harz, übergehen. Natürlich kann hier nur ein sehr unreines Oel benutzt werden, das sonst keine weitere Verwendung findet. Abfälle jeder Art, mögen sie noch so schmutzig sein, selbst der schlechteste Thran liefern ein Leuchtgas, das dem der Steinkohlen bei weitem voransteht. Zudem ist hier die Fabrikation des Gases eine viel weniger complicirte; die ganze Einrichtung der Apparate eine viel einfachere. Die Zersetzung der Oele findet in einer Retorte statt, die mit Ziegel- oder Koksstücken gefüllt ist, wodurch die glühende Oberfläche bedeutend vermehrt und eine schnellere Zersetzung bewirkt wird. In diese fließt aus einem darüber liegenden Cylinder, der wieder aus einem größeren Vorrathsbehälter gespeist wird, das Oel in einem feinen Strahl; das mit Theerdämpfen beladene Gas muß seinen Weg durch den mit Oel gefüllten Cylinder nehmen und setzt hier, gleichsam wie in einer Vorlage sämmtlichen Theer ab, der wieder mit dem Oele zur weiteren Zersetzung in die Retorte zurückfließt. Auch hier hat die Temperatur Einfluß auf die Beschaffenheit des Gases, wie dies die Versuche von Henry deutlich zeigen.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 45.

Material	Temperatur der Destillation	Oelbildendes Gas	Grubengas	Kohlenoxyd	Wasserstoff	Stickstoff
		in 100 Raumtheilen Leuchtgas				
Oel . .	lebhafte Rothglühhitze	6	28,2	14,1	45,1	6,6
	desgleichen	19	32,4	12,2	32,4	4
	möglichst niedrige Temperatur	22,5	50,3	15,5	7,7	4
Thran . .	dunkele Rothglühhitze	38	46,5	9,5	3	3

Eine Zersetzung der Kohlenwasserstoffe und eine daraus folgende Ablagerung von Kohle ist auch hier nicht ganz zu vermeiden; deshalb müssen die Retorten von Zeit zu Zeit gereinigt und die Ziegel- oder Koksstücke erneuert werden. Eine Reinigung des Gases hat aber durchaus nicht statt, weil das Oel oder Fett keine Bestandtheile enthält, die zur Bildung schädlicher Producte Veranlassung geben. Aller dieser Vortheile wegen ist zu bedauern, daß der hohe Preis dieser Materialien ein Hinderniß für eine Benutzung im Großen ist. Man hat freilich versucht die ölgebenden Samen sogleich zu zersetzen, aber von vorneherein war einzusehen, daß diese Versuche kein befriedigendes Resultat liefern würden. Nichts desto weniger bestehen an größeren Orten, z. B. in London, Oelgasfabriken neben Steinkohlengasanlagen, weil die Inhaber von Manufacturläden hier hinreichend Gewißheit haben ein von Schwefelverbindungen durchaus freies Gas zu erhalten. Schlecht gereinigtes Steinkohlengas hat an solchen Orten früher bedeutende Schäden angerichtet.

Für den Betrieb im Kleinen aber, wo nur einzelne Gebäude, Fabriken, Krankenhäuser und ähnliche Anstalten, öffentliche Vergnügungslocale ꝛc. mit Gas beleuchtet werden sollen, ist diese Bereitungsart besonders zu empfehlen und verdient größere Beachtung wie bisher. Oft liefert an solchen Orten die Küche hinreichend Material für das nöthige Leuchtgas. Daß man auch im Großen aus nutzlosen Abfällen Vortheile ziehen könne, dafür giebt uns die Stadt Rheims einen entschiedenen Beweis. Die Quelle des Leuchtgases ist hier das Seifenwasser der Tuchfabriken, — ein Wink für viele andere Orte. Die Seife wird durch Schwefelsäure zersetzt, die sich abscheidende unreine Fettmasse nochmals mit Schwefelsäure geläutert und filtrirt. Das ablaufende klare Oel benutzt man wieder zur Darstellung von Seife; der in großer Menge zurückbleibende reichlich Fett enthaltende Rückstand wird in der Hitze zersetzt.

Die Ausbeute an Gas variirt auch hier nach den verschiedenen Angaben zwischen 12,63 bis 25 Cubikfuß pro Pfund oder dem Gewichte nach bis 96 Proc. Die Leuchtkraft nimmt man gemeinhin 3,7 Mal größer an, als die des Steinkohlengases. Hierbei ist aber in Anschlag zu bringen, daß das Leuchtvermögen des Oelgases bei langen Röhrenleitungen abzunehmen scheint, weil sich daraus kohlenstoffreiche Verbindungen in flüssiger Form abscheiden.

Wegen des billigen Preises, zu dem Fichtenharze jetzt aus den nördlichen Ländern Europas und Amerikas in großen Mengen in den Handel kommen, hat die Darstellung des Harzgases eine größere Ausdehnung erhalten. Wir finden solche an verschiedenen Orten, besonders in Paris, Antwerpen, Frankfurt a. M. ꝛc. Sie bietet nicht so bedeutende Vortheile wie die Oelgasfabrikation, einmal wegen

der festen Form des Harzes und dann bilden sich bei der Zersetzung flüchtige Producte, die schon bei niederer Temperatur entweichen, daher nicht zersetzt werden und sich in der Vorlage wieder zu Harzöl verdichten. Wollte man die Zersetzung dadurch erzwingen, daß man diese flüchtigen Verbindungen durch mehrere Retorten leitete, so würde das Brennmaterial zu bedeutende Kosten verursachen. Die Destillirapparate sind hier dieselben wie beim Oel; das Harz wird vorher geschmolzen oder in dem Harzöl aufgelöst. Besondere Reinigungsapparate sind auch hier nicht erforderlich.

Namentlich in früherer Zeit wurden die mannichfaltigsten Substanzen zur Gasbereitung vorgeschlagen und Versuche angestellt, um manchen Traum zu verwirklichen. Dabei gerieth man nun oft auf Abwege. Zur allgemeinen Benutzung sind nur die Steinkohlen fähig. Doch läßt sich nicht läugnen, daß sich, sobald nur die Wissenschaft mehr ins Leben eingedrungen ist, für manche beschränkte Kreise zahlreiche Quellen zur Benutzung darbieten werden. So z. B. hat sich auf die Benutzung thierischer Abfälle — Knochen, unbrauchbares Fleisch, Blut, Tuch- und Lederabfälle ꝛc. — eine großartige Fabrikthätigkeit gegründet, da die Producte derselben, wie Knochenkohle bei den Zuckersiedereien und Blutlaugensalz in den Färbereien, so wie zur Darstellung des Berlinerblau in großen Mengen verbraucht werden. Die thierischen Substanzen werden hier, wie die Steinkohlen, der trocknen Destillation unterworfen und liefern gleich ihr eine große Menge leuchtender Gase, die unbenutzt entweichen. Ihre Brauchbarkeit zur Beleuchtung ist oft, aber vergebens in Vorschlag gebracht worden, denen man die schwierige Reinigung des Gases, das reich an Schwefelverbindungen ist, entgegenstellte. Eine solche ist nicht unmöglich, ja nicht einmal so sehr umständlich; das kohlensaure Ammoniak wird durch Chlorcalcium und der Schwefelkohlenstoff durch Schwefel entfernt. Ja selbst aus dem bei dieser Fabrikation in großer Menge abfallenden Thieröl kann ungeachtet seines höchst unangenehmen Geruches ein vorzüglich schönes Leuchtgas erhalten werden, wenn man es durch nicht stark glühende Röhren leitet. In Frankreich ist die Benutzung dieser Gase durch S e g u i n bereits eingeführt. In einer belgischen Zuckerfabrik, in der gleichzeitig die nöthige Knochenkohle bereitet wird, speist man mit dem bei der täglichen Verkohlung von 550 Pfund Knochen abfallenden Gase 40 Brenner. Vielleicht liefert uns Nordamerika ehestens ein neues Beispiel dieser Art *). Am Missisippi ist die Schweinezucht so groß, daß das Fleisch dieser Thiere nicht verwerthet werden kann. In Cincinnati hat sich nun eine eigene Fabrikthätigkeit gebildet, durch welche viele tausende dieser Thiere auf Fett und in dem obigen Sinne verarbeitet werden. Ja ein großer Theil des Rückstandes beim Fettpressen dient noch als Dünger; dies wäre ein schönes Material für Leuchtgas.

Seit 20 Jahren ist auch vergebens auf die Fichten- und Tannenzapfen und Nadeln aufmerksam gemacht worden, die an vielen Orten in großer Menge zu haben sind. Ihres Harzgehaltes wegen verdienen sie alle Beachtung und im Harz werden sie seit kurzem auch zur Darstellung brennbarer Gase für die Eisenhütten benutzt. — Man hat auch versucht aus menschlichen Excrementen Leuchtgas darzustellen **), doch diese haben als Dünger eine viel wichtigere Verwendung. Ein

*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXV. S. 386.
**) Verh. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbefleißes in Preußen 1847. S. 116.

Pfund lieferte 4 Cubikfuß Gas, das an Helle das Steinkohlengas übertraf. Für die Weinländer hat man die Preßrückstände empfohlen, eben so Maikäfer und Maden. 4,7 Cubikfuß der ersteren gaben 100 Cubikfuß Gas und $^3/_8$ Scheffel Maden 68 Cubikfuß. Ja selbst der Zucker ist allen Ernstes zur Darstellung des Gases vorgeschlagen worden und dann würde sich für die deutsche Runkelrübenzuckerindustrie ein wahres Eldorado aufthun.

In neuester Zeit ist durch den Professor Pettenkofer in München eine der ältesten Bereitungsweisen des Leuchtgases — aus Holz — wieder zu Ehren gekommen. Er will bei der trocknen Destillation desselben Verbesserungen eingeführt haben, durch die zugleich die Ausbeute an Gas (um 40 Proc.) und das Leuchtvermögen erhöht werden soll. Sobald Pettenkofer 1850 in einer Versammlung des polytechnischen Vereins vor den Augen Vieler mit einem kleinen Apparate experimentirt hatte, regten sich gleich die verschiedenen kleinlichen Interessen, die sich dadurch beeinträchtigt glaubten und verbreiteten mit Eifer Verdächtigungen gegen das Neue. Pettenkofer nahm den Kampf auf; mit Hülfe einiger Männer, die nicht Ursache zu haben glaubten, das Neue gleich von vorne herein verdammen zu müssen, gelang es ihm, die Hindernisse aus dem Wege zu räumen und siegreich aus dem Kampfe hervor zu gehen. Seit dem 19. März 1851 wird der Bahnhof in München zu aller Zufriedenheit mit Holzgas beleuchtet. Zur Darstellung desselben genügt eine Retorte, die aber noch viermal so viel Gas liefern könnte. Beschickt wird sie jedesmal mit einem Centner Holz; die Abtreibung nimmt höchstens zwei Stunden in Anspruch; die Ausbeute beläuft sich in der Stunde auf 355 Cubikfuß Gas. Eine Flamme verzehrt stündlich 5 Cubikfuß Gas und erzeugt dadurch eine Helle, die $15^1/_2$ Wachskerzen entspricht, während das Augsburger Steinkohlengas bei gleichem Verbrauch nur 11 bis 13 Wachskerzen repräsentirt. Die Vortheile sind hier gegen Steinkohlen nicht unbedeutend. Wegen der Schnelligkeit, mit der die Destillation vor sich geht, bedarf man nur der Hälfte Retorten, wodurch auch die Feuerung und Bedienung reducirt wird. Ferner ist das Gas, da es frei von Schwefelverbindungen ist, leichter zu reinigen und die bei der Gasbereitung abfallenden Nebenproducte — Kohlen, Holzessig und Theer — finden zu guten Preisen leichten Absatz. Dennoch aber wird das Holzgas das Steinkohlengas nicht verdrängen, ja nicht einmal sehr beeinträchtigen. Wenn auch Pettenkofer anführt, daß sich in einem Umkreise von 15 Stunden um München, so viel, sonst wenig brauchbares Holz vorfinde, um für 1000 Jahre zur Beleuchtung der ganzen Stadt auszureichen, so hat man im Allgemeinen doch zu sehr für die Lichtung der deutschen Wälder gesorgt, als daß die Holzgasbereitung allgemein werden könnte. „Raum für alle hat jedoch die Erde" und so auch das Holzgas neben dem Steinkohlengas ein mehr oder minder großes Feld zu seiner Ausbreitung, ohne daß beide nöthig haben, einander zu befehden. Und hat das Steinkohlengas selbst nicht einmal in England das viel theurere Harz- und Oelgas ganz entfernen können, so wird auch Pettenkofer's „Neugeborner" am Leben bleiben und dereinst ein „nützlicher Geselle in der Werkstätte der vaterländischen Industrie" werden. Täglich wird eine große Menge Holz zur Darstellung von Kohlen, Holzessig und Theer, der trocknen Destillation unterworfen, wobei die kostbaren brennbaren Gase ganz verloren gehen; dies ist die Grundlage, auf der die Holzgasbereitung eine Verbreitung finden kann.

Auf deutschem Grund und Boden hat die alte ehrwürdige Reichsstadt Heil-

bronn das Verdienst, die Beleuchtung mit Holzgas zuerst im Großen ausgeführt zu haben; mit dem 1. December 1852 begann die Thätigkeit der Anlagen, das Werk des eifrigen Chefs der bekannten großen Papierfabrik, Gustav Schäufelen. In den ersten Tagen bot sich denen, welche das neue Unternehmen mit scheelen Augen betrachteten, hinreichend Gelegenheit, ihrer hämischen Schadenfreude freien Lauf zu lassen. Das Gas brannte äußerst schlecht! — in Folge der Fahrlässigkeit bei der Reinigung. Es verließ die Reinigungsapparate mit einem Gehalt von 20 Proc. Kohlensäure. Bald aber wurde dieser Uebelstand beseitigt und seitdem kann man das Holzgas dem aus Steinkohlen wohl an die Seite setzen. Aus sorgfältig angestellten Versuchen geht hervor, daß eine Flamme bei einem Verbrauch von $4^1/_2$ Cubikfuß Gas in der Stunde eine Helle verbreitet, die $13^1/_5$ Stearinkerzen gleich kommt. Oldenburg ist diesem Beispiele in neuester Zeit gefolgt, Baireuth ist mit der Anlage beschäftigt, viele andere Städte, wie Basel, Zürich, Stockholm, Drontheim, Bonn und selbst einige Frankreichs traten mit Pettenkofer in Unterhandlung. In Süddeutschland scheint reges Interesse für den neuen Industriezweig zu herrschen; mehrere Städte — Augsburg, Nürnberg, Ulm — haben theils nach München, theils nach Heilbronn Abgeordnete gesendet, um sich über den Stand der Dinge zu unterrichten.

Pettenkofer, von dem wir in nächster Zeit eine ausführliche wissenschaftlich technische Arbeit über das Holzgas zu erwarten haben, theilt folgende Zusammensetzung eines Leuchtgases aus möglichst harzfreiem Fichtenholz mit.

	Ungereinigt.	Gereinigt.
Oelbildendes Gas . .	7,93	10,57
Grubengas	25,32	33,76
Kohlenoxyd	28,21	37,62
Wasserstoff	13,53	18,05
Kohlensäure	25,01	—

Wir ersehen hieraus, daß das Holzgas bedeutend mehr an ölbildendem Gase enthält, als die meisten der Steinkohlengase, welche Frankland analysirt hat.

Die Nebenproducte, welche bei der Bereitung und Reinigung des Leuchtgases aus Steinkohlen abfallen, sind von einem großen Werth und üben deshalb einen vortheilhaften Einfluß auf den Preis des Hauptproductes, des Leuchtgases selbst aus. Obenan unter ihnen stehen die Koks, die wegen ihres hohen Kohlenstoffgehaltes ein die gewöhnlichen Steinkohlen weit übertreffendes Brennmaterial abgeben, das hinreichend guten Absatz findet. Die Ausbeute wechselt nach der Beschaffenheit der Kohlen und der Temperatur, bei der die Zersetzung ausgeführt worden ist. Das Volumen ist hier aber größer als das der Steinkohlen, aus denen sie resultirten und zwar in dem Verhältniß von 110 bis 140 : 100. Durch den Verkauf der Koks wird ein bedeutender Theil der Kosten des Rohmaterials gedeckt; ja an einigen Orten ist der Gewinn sogar größer als die Auslage für die Steinkohlen. In Stettin z. B. betrug er seit den letzten Monaten des Jahres 1851 8 Pfg.; in Berlin sogar $3^3/_4$ Sgr. für jede 1000 Cubikfuß Gas. — In neuerer Zeit sucht man bei dem Fabrikbetriebe im Großen alle Vortheile geltend zu machen; deshalb findet auch der Abfall der Koks, die beim Transport zerbröckelten Massen, eine gewinnbringende Verwendung, indem man denselben mit Thonbrei zu Steinen formt und so ein werthvolles Brennmaterial gewinnt. Eine

weniger wichtige Verwendung finden die Koks ihrer Härte wegen als Schleifmittel für Metalle.

Ferner ist das Wasser, welches die trockne Destillation der Steinkohlen liefert, der darin enthaltenen Ammoniaksalze wegen, ein gesuchter Artikel. Es dient entweder zur Darstellung von Salmiak oder von schwefelsaurem Ammoniak, das, wie der reichliche Abfall bei der Reinigung des Gases, in der Alaunfabrikation verwendet wird. Das ammoniakalische Wasser ist gleichfalls ein gutes Mittel zur Beförderung der Vegetation, sowohl in Gemüsegärten, als auch auf Aeckern.

Weiter fällt in größeren Massen der Theer ab, ein Gemisch der verschiedensten Substanzen. Als solcher wird er zu Anstrichen für Holz und Metalle gebraucht, um die Einwirkung der Luft und der Feuchtigkeit abzuhalten. Seit fünfzehn Jahren findet der Steinkohlentheer, namentlich in Frankreich und England, eine neue gewinnbringende Verwendung, indem mit seiner Hülfe die bedeutenden Abfälle beim Steinkohlenbau, das sogenannte Grubenklein, ein sonst sehr lästiges und werthloses Nebenproduct, weil es seiner Kleinheit wegen zum Brennen untauglich ist, zu Steinen geformt wird, die nun ein treffliches Brennmaterial liefern. Solches wird besonders auf Dampfschiffen, die lange Seereisen zu bestehen haben, sehr geschätzt, weil die Steine sich sehr gut verpacken lassen und so gegen gewöhnliche Steinkohlen einen kleineren Raum einnehmen.

Popelin-Ducarre hat dieses Verfahren in neuester Zeit auf die Holzkohlen übertragen und so einen neuen Industriezweig geschaffen, indem es auf diese Art möglich ist, sonst zur Darstellung von Kohlen nutzloses Material wie Reiser, Haidekraut, Ginster und andere, so wie auch den staubförmigen Abfall der Holzkohlen, des Torfes, gebrauchte Gerberlohe &c. nutzbringend zu verwerthen. Diese Kohlen, in Form kleiner Cylinder, verdienen vor gewöhnlichen Holzkohlen den Vorzug, weil sie eine stärkere Hitze abgeben, langsamer und regelmäßiger brennen. Deshalb hat das neue Brennmaterial bereits allgemeinen Eingang gefunden; es wird in Haushaltungen und Fabriken in reichlichem Maße verwendet. So kleinlich der neue Industriezweig auch scheinen mag, so verdient er doch Achtung und Beachtung; er zeugt deutlich, wie ein kluger Kopf auch das Kleinste zum Großartigen umzuwandeln vermag. Popelin-Ducarre's Fabrik, die bereits über sechs Jahre besteht, fertigt jährlich über 34,000 Ctr. solcher Kohlen, die einen Werth von über 71,000 Thlr. repräsentiren.

Früher war der Theer den Gasanstalten sehr lästig, da sie die ganze Masse desselben nicht verkaufen konnten. Um nur einigen Gewinn daraus zu ziehen, mußten sie ihn selbst als Feuerungsmaterial benutzen. Seitdem aber die Chemiker sich darüber hergemacht haben das schwere Theerräthsel zu lösen, ihn in seine Bestandtheile zu zerlegen, hat sich die Sache geändert und jetzt ist der Theer eine Quelle vieler nützlicher Producte, so daß sich auf die Verarbeitung desselben, namentlich in England, bereits ein eigener Industriezweig gegründet hat. Hofmann's Untersuchungen *) wurden für die Wissenschaft selbst von dem größten Nutzen. Von größerer Bedeutung für das praktische Leben ist die in neuerer Zeit von Mansfield **) ausgeführte Untersuchung des Steinkohlentheeres, durch

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLVII. S. 37.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXIX. S. 162.

welche der Weg zu einer neuen Beleuchtungsart eröffnet worden ist. Er fand, daß sich aus dem Theer ohne große Mühe und mit geringen Kosten das Benzol oder Benzin, ein flüssiger, sehr flüchtiger Kohlenwasserstoff (C^{12} H^{6}), der auf verschiedene Weise nützlich zu werden verspricht, in großer Menge darstellen lasse. Er schlägt vor das Benzol zur Leuchtgasbereitung zu verwenden. Man hat hier nur nöthig irgend ein schlecht leuchtendes Gas oder auch atmosphärische Luft durch einen Behälter gehen zu lassen, der das Benzol enthält. Bei dem Durchgange nimmt das Gas oder die Luft von dem flüchtigen Kohlenwasserstoff in sich auf und liefert nun ein ganz weißes, reines und helles Licht. Sieben Pfund Benzol, die in England ungefähr $^2/_3$ Thlr. kosten, liefern für 120 Stunden ein Licht, welches dem von 4 Wachskerzen gleich kommt. Die neue Art der Beleuchtung läßt sich in jedem Maßstabe ausführen; sie eignet sich sowohl für Beleuchtung der Straßen als auch der Zimmer und verspricht gerade für die Gegenden vortheilhaft zu werden, welche von Steinkohlengruben weit entfernt liegen. Das Benzol bietet auch ein Mittel aus weniger gutem Material hellleuchtendes Gas zu erhalten und so wäre es wohl an der Zeit, an die Verwerthung der deutschen Steinkohlen und selbst der namentlich in Norddeutschland in so beträchtlicher Ausdehnung vorkommenden Braunkohlen, so wie selbst des Torfes zu denken.

Das Benzol ist auch noch weiter zu verwenden. Eine Auflösung von Kautschuk oder Gutta Percha in Benzol trocknet sehr schnell wegen der großen Flüchtigkeit des Auflösungsmittels. Es ersetzt daher das Collodium vollständig und kann auch als Firniß dienen. Gleichfalls verspricht es sich bei verschiedenen Hautkrankheiten sehr wohlthätig zu erweisen.

Bei dem regelmäßigen Fabrikbetriebe in England destillirt man den Steinkohlentheer aus großen Retorten, die viele hundert Quart fassen. Zuerst gehen Ammoniak und Gase über; bei steigender Temperatur folgt Wasser, beladen mit verschiedenen Ammoniakverbindungen, dann ein stinkendes gelbes oder braunes Oel, das auf der Oberfläche des Wassers schwimmt. Fängt das Oel an unterzusinken, so wechselt man die Vorlage und fängt das schwere Oel besonders auf. Das leichte Oel beträgt 5 bis 10 Proc., das schwere 30 Proc. und mehr. Der Rückstand — ein Pech — wird zur Darstellung von Asphalt benutzt oder man löst ihn in dem Oele auf, und gewinnt so einen schwarzen, für Eisen häufig gebrauchten Firniß. Die Farbe des Peches ist schön schwarz; er läßt sich in Formen gießen und nimmt die zartesten Eindrücke an, so daß die Oberfläche, wenn das geschmolzene Harz auf Perlmutter ausgegossen wird, in Farben schillert. Man könnte die Masse vortheilhaft gleich dem Gyps zur Darstellung von Zierrathen benutzen.

Das schwere Steinkohlenöl wird selten rectificirt, sondern gewöhnlich zur Darstellung von Lampenschwarz, zum Brennen in geringen Lampen oder zur Conservirung von Bauholz, das damit getränkt wird, verwendet. Es wirkt der Fäulniß sehr stark entgegen und eignet sich deshalb besonders zur Aufbewahrung von organischen Substanzen — Fleisch, anatomischen Präparaten, Früchten, Samen. Es genügt ein mit diesem Oele getränkter Schwamm auf dem Boden des zur Aufbewahrung dienenden Gefäßes; der sich daraus entwickelnde Dampf reicht hin nicht allein die Fäulniß abzuwehren, sondern auch die natürliche Farbe, Gestalt, Umfang und Biegsamkeit des aufzubewahrenden Gegenstandes zu erhalten. Es dient auch zur Auflösung von Kautschuk und Gutta Percha und findet so mancherlei

Anwendung. Namentlich machte vor einigen Jahren der sogenannte Marineleim, eine Auflösung von Kautschuk und Schellack in Steinkohlentheeröl, der aus Frankreich zu uns kam, großes Aufsehen, weil dieser Kitt in Wasser völlig unlöslich ist. Ferner stellt man aus dem schweren Steinkohlenöl durch Einwirkung der Salpetersäure jetzt in großer Menge die Pikrinsäure ($HO . C^{12} H^{2} (3 NO^{4}) O$) dar zum Färben der Seide, ohne diese vorher zu beizen oder nachher abzuwaschen. Wolle kann damit gleichfalls gefärbt werden. Die Farben sind sehr schön und echt. Die Nüancen gehen vom schwachen Strohgelb bis zum Schwefelgelb oder Maisgelb und das sind gerade die gesuchtesten Farben.

Das leichte Theeröl wird entweder in Retorten oder durch Einleiten von Dampf rectificirt, wobei stets ein schweres Oel zurück bleibt. Es riecht dann noch unangenehm und färbt sich in Folge einer Oxydation allmälig braun. Ohne Geruch und Farbe erhält man es durch abermalige Rectification, nachdem es mit Vitriolöl anhaltend geschüttelt worden ist. In Lampen verbrannt liefert es ein sehr schönes Licht. Aus diesem Oel erhält man das Benzol in reichlicher Menge; es besteht nur aus Kohlenwasserstoffen der Reihe $C^{n} H^{n-6}$ und enthält davon außer dem genannten noch das Toluol ($C^{14} H^{8}$), Cumol ($C^{18} H^{12}$) und Cymol ($C^{20} H^{14}$).

Bei einiger Umsicht bietet sich den Leuchtgasbereitungsanstalten hinreichend Gelegenheit dar den gewonnenen Theer selbst vortheilhaft zur Darstellung von Leuchtgas zu verbrauchen. Es ist sogar sehr zu bewundern, daß hier noch nicht mehr geschehen ist.

Eine sehr interessante Arbeit hat jüngst Magnus über die Entstehung des Theeres aus ölbildendem Gase *) geliefert. Eine Beobachtung, daß dieses Gas, durch eine glühende Röhre geleitet, den Geruch von Steinkohlentheer annahm, gab die Veranlassung zu einer Reihe von Versuchen, deren Resultate über die Vorgänge bei der Gasbereitung manchen Aufschluß gewähren. Die Bildung des Theeres aus dem ölbildenden Gase beginnt bei einer Temperatur, die jedenfalls höher als 360° C. ist und sie scheint nicht unter der Rothglühhitze einzutreten. Bei der dunkeln Rothgluth entsteht aber der Theer in großer Menge. Er ist nur theilweise flüchtig, denn versucht man ihn zu destilliren, so bleibt immer etwas Kohle zurück. Bildet sich Theer, so vermindert sich das Volumen des Gases, aus dem er entsteht. Diese Verminderung ist verschieden je nach der Zersetzung, welche der Theer selbst erfährt; bei verschiedenen Versuchen betrug das Volumen des zurückbleibenden Gases zwischen 84,4 bis 93,6 Proc. Eben so verschieden war auch die Zusammensetzung des zurückbleibenden Gases. Stets bestand es zum größten Theile aus Grubengas, unzersetztem ölbildenden Gase, Theerdämpfen und Wasserstoff. Wurde das ölbildende Gas der vollen Weißglühhitze ausgesetzt, so trat umgekehrt eine Vermehrung seines Volumens ein. Es bildete sich hier kein Theer, dagegen schied sich eine große Menge Kohle ab und das Gas war fast reines Wasserstoffgas, frei von dem Theergeruch.

Es geht hieraus hervor, daß der Theer aus dem ölbildenden Gase nur in der Rothglühhitze entsteht, durch Weißgluth aber wieder in Kohle und in Wasserstoff zerlegt wird. Eine nähere Einsicht in den Vorgang bei seiner Bildung war

*) Poggend. Ann. Bd. XC. S. 1.

nur möglich durch eine Untersuchung seiner Zusammensetzung. Wird eine nicht flüchtige organische Substanz in einer unveränderlichen Temperatur erhalten, bei welcher sie sich zersetzt, so bilden sich während der ganzen Zeit der Erhitzung dieselben flüchtigen Producte, bis eine bei dieser Temperatur nicht flüchtige Verbindung zurück bleibt. Steigt aber die Temperatur, so wird auch diese Verbindung wieder zersetzt; es bilden sich neue flüchtige Producte und es bleibt eine andere nicht flüchtige Verbindung zurück. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis schließlich nur Kohle als Rückstand bleibt. Wenn daher die Temperatur nicht vollkommen constant ist, so entstehen mit der Aenderung derselben verschiedene flüchtige Verbindungen und eben so entstehen solche, wenn die erhitzte Substanz nicht überall derselben Temperatur ausgesetzt wird. Dies ist aber fast immer der Fall bei Versuchen im Kleinen und Großen; denn an den Wänden der Gefäße ist die Hitze stets größer als in der Mitte. Daher entstehen bei der trocknen Destillation immer gleichzeitig verschiedene Zersetzungsproducte, um so mehr, als nicht nur die nicht flüchtigen Reste der Zersetzung mit steigender Temperatur immer wieder zersetzt werden, sondern auch die flüchtigen, wenn sie zersetzbar sind. Daher ist auch der Theer aus dem ölbildenden Gase ein Gemisch von verschiedenen Zersetzungsproducten.

Das Grubengas liefert keinen Theer; es blieb bei der Temperatur unverändert, in der das aller schwerschmelzbarste böhmische Glas weich wird. In der Weißglühhitze zerfällt es jedoch in Kohlenstoff und Wasserstoff. Die Zersetzung des ölbildenden Gases findet also in der Weise statt, daß dasselbe in der Rothglühhitze sich in Theer und Grubengas zerlegt und daß diese beiden in der Weißglühhitze sich wieder in Kohlenstoff und Wasserstoff zerlegen. In Bezug auf die Fabrikation des Steinkohlengases führen die Versuche zu dem Schlusse, daß der Theer, welcher stets als Begleiter dieses Gases auftritt, sich auf zwei verschiedene Weisen bildet. Theils nämlich durch Zersetzung des bereits erzeugten ölbildenden Gases, theils gleichzeitig mit diesem unmittelbar aus den Steinkohlen. Von diesem letzteren rühren die stickstoffhaltigen Substanzen, von dem ersteren die Kohlenwasserstoffe im Steinkohlentheer her.

Der Kalk, der bei der Reinigung des Gases in so großer Menge abfällt, hat seines unangenehmen Geruches wegen den Gasbereitungsanstalten manche Sorge gemacht. Er war früher nur mit Kosten zu beseitigen. Jetzt kann er aber auch mit dazu dienen, um die Kosten der Reinigung des Gases aufzuheben. Es läßt sich von ihm mancherlei Gebrauch machen. In dem Peter=Street=Station=Gaswerk zu London wird er in einem Flammofen calcinirt und dient dann als Mörtel oder Dünger. Dieser Abfall ist aber auch noch auf andere Art zu verwerthen. Durch Sauerstoffaufnahme aus der Luft verwandelt sich das darin enthaltene Schwefelcalcium nach und nach in unterschwefligsauren Kalk und daher gewährt dieser Abfall, wie Graham *) gezeigt hat, eine reiche Quelle für eine billige Darstellung von unterschwefligsauren Salzen, die in neuerer Zeit durch ihre Anwendung in der Galvanoplastik und Photographie eine große Wichtigkeit erlangt haben und, wenn sie nur erst billig genug im Großen herzustellen sind, noch mancherlei Verwendung finden werden. Nach Versuchen, die in Berlin angestellt worden sind, stellt sich der Gaskalk als ein vorzügliches Mittel zur Enthaarung der Felle in Gerbereien heraus.

---

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. XXXVI. S. 48.

Endlich ist in England ein großer Schritt vorwärts gethan in der Gasbereitung und dabei ein ganz neues Princip eingeführt. Es ist dies der sogenannte „Hydrocarbonproceß" von White. Man kennt dort besser die Wichtigkeit der Wissenschaft für die Industrie, als bei uns und deshalb scheuten die Unternehmer einer Gasanstalt in Manchester die Ausgabe nicht und veranlaßten den talentvollen Chemiker Frankland, einen Schüler Liebig's, Einsicht in das Wesen des neuen Processes zu nehmen. Diesem verdanken wir nun einen sehr lichtvollen Beitrag zur Kenntniß des Vorgangs bei der Gasbereitung *), über den wir, wie wir gesehen haben, bisher fast ganz im Dunkeln waren. Die äußerst günstigen Resultate, die hier erzielt wurden, werden für diesen wichtigen Fabrikationszweig nicht ohne Nutzen bleiben.

Wir haben oben gezeigt, daß man früher die zweite Classe der Gase, weil sie zum Lichte nichts beitragen, für völlig nutzlos hielt; man würde sogar versucht haben sie fortzuschaffen, wenn es nur hätte geschehen können. Frankland thut nun dar, daß diese Gase, wenn sie auch kein Licht spenden, dennoch unentbehrlich sind, denn ohne sie würden die leuchtenden Gase mit einem starken Rauch verbrennen und dadurch sehr beschwerlich fallen. Er nennt sie daher die verdünnenden Gase. Sie gewähren aber auch noch einen weiteren Nutzen bei der Darstellung des Leuchtgases selbst. Wir wissen, daß die an Kohlenstoff reichen leuchtenden Gase bei der Hitze, wie sie in der Retorte stattfindet, zerlegt werden und zwar so, daß sie bei der Berührung mit der glühenden Fläche diese mit Kohle überziehen und dadurch an Leuchtkraft einbüßen, da die Helle des Lichtes ja eben von dem Gehalt an Kohle abhängt. Die Zersetzung der Leuchtgase in der Retorte, die nie ganz zu vermeiden ist, hängt nun ab, einmal von der Zeit, während welcher die Gase mit der glühenden Fläche in Berührung sind, dann aber auch von dem Zustande des Gases selbst. Verdünnen wir das Leuchtgas mit einem gleichen Raumtheil eines Gases, welches keine Zersetzung erleidet, so ist klar, daß hier die Menge der Theilchen, die mit der glühenden Umgebung in Berührung kommen, nur halb so groß ist und folglich auch der Verlust. Ferner sind die nicht leuchtenden Gase befähigt, die Dämpfe von leuchtenden Kohlenwasserstoffen, die zwar aus der Retorte in Gasform austreten, aber die sich bei der Abkühlung als flüssige oder feste Körper ausscheiden, in sich aufzunehmen, gleichsam also aufzuzehren, wodurch auch wieder die Leuchtkraft vermehrt wird. Nicht brennbare Gase würden in den beiden letzten Fällen zwar gleiche Dienste leisten, aber bei der Verbrennung selbst würde sich ein bedeutender Nachtheil herausstellen, indem durch sie die Flamme stark abgekühlt und so eine bedeutende Verringerung des Lichteffectes hervorgebracht wird, die selbst nicht durch die mittelst des nicht brennbaren Gases erzielten Vortheile eine Ausgleichung findet. Alle diese in die Augen fallenden günstigen Wirkungen der verdünnenden Gase würde man schon längst erkannt haben, wenn man sich nur die Mühe genommen hätte, den Proceß der Darstellung des Leuchtgases sorgfältig zu studiren.

Unter den verdünnenden Gasen treten nun hauptsächlich das Grubengas, das Kohlenoxydgas und das Wasserstoffgas auf und so entsteht wiederum die Frage, gewähren alle gleiche Vortheile oder wenn nicht, welches von ihnen die bedeutendsten. Es war daher zu untersuchen, wie die einzelnen Gase sich bei der Verbrennung verhalten. Die Theorie allein gab hierüber hinreichend Aufschluß. Verbrennt

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 1.

man die beiden ersten Kohlenstoff enthaltenden Gase, so erfordern sie dazu Sauerstoff und geben als Verbrennungsproduct Kohlensäure zurück. Durch sie wird also die Luft in einem abgeschlossenen Raume, in Zimmern z. B. auf doppelte Weise verdorben, einmal durch die Entziehung des Sauerstoffs und dann durch die beträchtliche Rückgabe an Kohlensäure, die weit schädlicher ist, als die zuerst genannte Ursache. Schon aus diesem Grunde ist das Wasserstoffgas zur Verdünnung vorzuziehen; es bedarf zu seiner Verbrennung nur den vierten Theil an Sauerstoff gegen das Grubengas und halb so viel wie das Kohlenoxydgas, liefert dafür aber keine Kohlensäure, sondern nur Wasserdampf, der auf den menschlichen Organismus keinen nachtheiligen Einfluß ausübt. Weiter kommt hierbei in Betracht die Wärme, welche bei der Verbrennung erzeugt wird. Auch dieser Punkt ist nicht unwesentlich, denn Viele werden wohl die drückende Hitze aus eigener Erfahrung kennen, welche oft in Räumen herrscht, die mit Gas beleuchtet werden. Hier neigt sich der Vortheil ebenfalls auf Seite des Wasserstoffgases, denn während durch die Verbrennung von einem Cubikfuß Grubengas die Temperatur der Luft in einem 2500 Cubikfuß großen Zimmer von 15° auf 27° gesteigert wird, also um 12° zunimmt, beträgt die Steigerung beim Kohlenoxydgas nur 4,22° und beim Wasserstoffgas nur 4,11°.

Die von White eingeführte Verbesserung gewährt nun die eben besprochenen Vortheile. Sie besteht im wesentlichen darin, daß er Wasserdämpfe in eine besondere mit Holzkohle oder Koks gefüllte, glühende Retorte führt. Hier wird das Wasser zersetzt; es resultirt Wasserstoffgas, welches mit einem Ueberschuß an Wasserdampf in die Retorte übergeführt wird, in der die Darstellung des Leuchtgases stattfindet. Durch die Schnelligkeit, mit der die Gase hier eingeführt werden, erreicht man gleichzeitig noch den Vortheil, daß die leuchtenden Gase möglichst schnell herausgetrieben, mithin auch dem zersetzenden Einfluß der glühenden Umgebung entzogen werden.

Das neue Verfahren kann sowohl bei der Darstellung des Leuchtgases aus Harz, als auch bei der aus Steinkohlen Anwendung finden; doch sind die Vorgänge, welche in der zweiten Retorte stattfinden, in beiden Fällen andere. Neben dem Wasserstoffgase bildet sich auch bei der Zersetzung des Wassers Kohlenoxydgas und Kohlensäure, indem sich der Sauerstoff des zersetzenden Wassers mit der Kohle verbindet. Das Verhältniß der beiden letzten Gase wechselt je nach der Temperatur, in der die Zersetzung stattfindet und hängt auch wohl von der Geschwindigkeit ab, mit welcher das Wasser in die Retorte einströmt. Mit der Höhe der Temperatur nimmt die Kohlensäure ab. Ihre Bildung ganz zu verhindern gelingt nicht. Die Kohlensäure findet sich wieder in dem Harzgas und deshalb muß es einem Reinigungsprocesse unterworfen werden, der bei dem gewöhnlichen Harzgas nicht stattzufinden hat. Die Entfernung der Kohlensäure wird sehr leicht durch Aetznatron bewirkt. Diese neue Operation verursacht nur geringe Kosten, da das dabei entstehende kohlensaure Natron stets wieder durch Kalk ätzend gemacht werden kann; die Unbequemlichkeit aber wird mehr als hinreichend durch die Vortheile aufgehoben, welche die neue Methode gewährt.

Operirt man mit Steinkohlen, so verschwindet in der zweiten Retorte die aus der ersten mit eintretende Kohlensäure vollständig, wahrscheinlich weil sie hier durch Mehraufnahme von Kohle in Kohlenoxydgas umgewandelt wird. Aber auch das letztere Gas tritt verhältnißmäßig seiner Menge nach zurück, indem in der

zweiten Retorte eine ähnliche Einwirkung zwischen dem Wasserdampf und den Kohlenwasserstoffen des Theeres eintritt, wie in der ersten zwischen dem Wasserdampf und der Kohle. Im letzteren Falle überträgt das Wasser seinen Sauerstoff auf die Kohle und bildet damit Kohlenoxydgas, wobei ein gleiches Volumen Wasserstoff als Gas frei wird, im ersteren aber wird neben dem Wasserstoff aus dem Wasser auch der aus den Kohlenwasserstoffen frei. Ist nun auch anzunehmen, daß der Wasserdampf eine ähnliche Wirkung gleichzeitig auf die Leuchtgase ausübt und dadurch einen Verlust an Licht herbeiführt, so wird dieser doch mehr als hinreichend durch die mehrerwähnten Vortheile aufgehoben, wie dies die von Frankland mit verschiedenen Kohlen angestellten Versuche hinreichend beweisen.

Im Folgenden stellen wir nun die Versuche Frankland's zusammen. — Bei denen über die Anwendung des White'schen Processes auf Harz wurden folgende Resultate erhalten:

I. Praktische Resultate.

	Durchschnittliche Gasentwickelung in 1 Stunde	Verbrauchtes Material						Gewonnene Producte		
		Harz		Steinkohle als Brennmaterial		Holzkohle	Wasser	Harzöl	Gas	Gas auf den Ctr. Harz
	Cubikf.	Ctr.*)	Pfd.	Ctr.	Pfd.	Pfd.	Pfd.	Gallons **)	Cub.-Fuß	Cub.-Fuß
Erster Versuch . .	930	2	45½	1	56	10	73	10,7	3340	1388
Zweiter Versuch . .	1000	2	46	1	56	12	77	7,8	3800	1576
Dritter Versuch . .	—	2	17	1	56	12	85	4,5	4157	1932
Vierter Versuch . .	—	2	7	1	56	10	62½	8,75	3090	1520

II. Analytische Resultate.

Zusammensetzung des Gases vor der Reinigung.

	Absolute Menge in Cubikfußen			Procentgehalt				
	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	4. Versuch	Mittel
Oelbildendes Gas	258,7	269	305,7	7,75	7,08	7,41	8,22	7,62
Grubengas . .	587,5	1527,7	895,9	17,58	40,20	21,71	31,09	27,64
Wasserstoff . .	1315,3	1274,8	1976,2	39,38	33,54	47,90	42,06	40,72
Kohlenoxyd . .	967,9	319,2	753,3	28,98	8,40	18,26	15,04	17,67
Kohlensäure . .	210,6	409,5	194,9	6,31	10,78	4,72	3,59	6,35
	3340,0	3800,2	4126,0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

*) Zu 112 Pfd. engl. Gewicht.
**) Ein Gallon = $3^{31}/_{32}$ Quart.

Zusammensetzung des Gases nach der Reinigung.

	1. Versuch	2. Versuch	3. Versuch	4. Versuch	Mittel	Leuchtwerth der Kohlenwasserstoffe, ausgedrückt in ihrem Aequivalent ölbildenden Gases		
							Absoluter Werth	Procentgehalt in gereinigtem Gas
Oelbildendes Gas . .	8,27	7,94	7,78	8,53	8,13	1. Versuch	362,2 Cub.-F.	11,58
Grubengas .	18,76	45,06	22,79	32,25	29,71	2. Versuch	376,6 " "	11,12
Wasserstoff .	42,03	37,59	50,27	43,62	43,38	3. Versuch	428 " "	10,89
Kohlenoxyd .	30,93	9,41	19,16	15,60	18,78	4. Versuch	428,8 " "	11,94
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00			

Die Resultate der Versuche mit Steinkohlen stellt Frankland in folgender Tabelle übersichtlich zusammen.

	Gas auf die Tonne Cubik-Fuß		Leuchtkraft auf die Tonne Wallrathkerzen		Gewinn auf die Tonne bei White's Proceß		Gewinn auf 100 Theile bei White's Proceß	
	nach d. alten Proceß	nach White's Proceß	nach d. alten Proceß	nach White's Proceß	an Gas Cubik-Fuß	an Leucht-kraft	Gas-menge	Leucht-kraft
Wigan Cannelkohle (Ince Hall) . .	10900	16120	4816	6448	5220	1632	47,9	33,9
Wigan Cannelkohle (Balcarres) . .	10440	15500	4156	5920	5060	1764	48,5	42,4
Boghead Cannelkohle	13240	38160	11340	21368	24920	10028	178,2	88,4
Dieselbe 2. Versuch *) . . .	—	57720	—	20688	38480	9378	290,6	82,4
Lesmahago Cannelkohle	10620	29180	1620	13934	18560	6314	174,8	82,8
Methyl Cannelkohle	9560	26400	5316	11088	16840	5772	176,2	108,6
Newcastle Cannelkohle (Bamsey) .	10300	15020	5046	5646	4720	600	45,8	14,2

Diese Versuche verdienen um so mehr Beachtung, als sie nicht etwa in einem kleinen Maßstabe in dem Laboratorium des Chemikers, sondern in der Gasbe-

*) Bei dem ersten Versuch konnte mit einer Wassergasretorte nur die Hälfte der nöthigen Quantität Wassergase erzeugt werden. Daher wurde später der Versuch mit einem neuen Apparate, der aus einer Steinkohle- und zwei Wassergasretorten bestand, wobei die letzteren ihr Gas in die untere Abtheilung der Steinkohleretorte abgaben, wiederholt. Dies erklärt die Verschiedenheit in den Resultaten beider Versuche. — Diese ausgezeichnete Kohle besteht nach Bussoll's Analyse in 100 Th. aus Kohlenstoff 65,34, Wasserstoff 9,12, Sauerstoff 5,46, Stickstoff 0,71, Schwefel 0,15, Wasser 0,54, Asche 18,68 = 100,00.

reitungsanstalt selbst ausgeführt worden sind. Bei den Steinkohlen wurde stets mit einem Centner gearbeitet. Frankland faßt die Vortheile dieser neuen Gasbereitungsmethode, die sie in ihrer Anwendung auf gewöhnliche Steinkohle und Cannelkohle darbietet, in folgenden kurzen Sätzen zusammen:

1) die Gasproduction aus gegebenen Gewichtsmengen gewöhnlicher Steinkohle oder Cannelkohle wird bedeutend vermehrt und der Zuwachs beträgt, je nach der Beschaffenheit des angewandten Materials, von 46 bis 290 Proc.;
2) die Leuchtkraft der ganzen, aus einem gegebenen Gewicht Kohle erhaltenen Gasmenge wächst bedeutend, sie nimmt um 12 bis 108 Proc. zu und die Zunahme ist am größten, wenn man Steinkohlen anwendet, welche Gase von hoher Leuchtkraft erzeugen;
3) die Quantität des zurückbleibenden Theeres nimmt ab, indem ein Theil desselben in Gase von starker Leuchtkraft verwandelt wird;
4) der Proceß macht es möglich, die Leuchtkraft von Gasen, die aus solchen Kohlen, wie die Boghead und Lesmahago Cannelkohle u. a. gewonnen werden, zu reguliren und die Gase dadurch zum Brennen ohne Rauch oder Verlust an Licht geschickt zu machen;
5) der Procentgehalt an Wasserstoff wird vermehrt und der an Grubengas vermindert, wodurch die schädliche Einwirkung auf die Luft und die drückende Hitze der mit Gas beleuchteten Räume beschränkt wird;
6) zu diesen positiven Vortheilen kommt noch, daß die Anwendung dieses Processes keine weiteren Ausgaben erfordert, um die Apparate in Gang zu setzen, die Abnutzung an Retorten zu ersetzen, oder das Gas rein darzustellen, und daß er außer einem Wechsel in den Retorten, keine Veränderung in der gegenwärtig für die Gasfabrikation nach der alten Methode gebräuchlichen Construction der Oefen und Apparate nöthig macht.

Die Ausbeute an Koks schwankte. In einigen Fällen sank sie (bis zu 4,68 Proc. Differenz), in anderen blieb sie gleich und in einem betrug sie sogar um ein Geringes mehr.

Frankland giebt noch eine Tabelle, welche die Gewichtsmengen der Kohle enthält, die jedesmal nöthig sind, um nach beiden Processen das Licht von 1000 Wallrathkerzen, von denen jede 10 Stunden mit 120 Grains pro Stunde brennt, zu produciren:

	Alter Proceß	White's Proceß
Wigan Cannelkohle (Ince Hall) . .	465,1 Pfd.	347,4 Pfd.
„ „ (Balcarres) . .	539 „	378,4 „
Boghead „	197,5 „	104,8 „
Lesmahago „	293,9 „	160,7 „
Methyl „	421,4 „	202 „
Newcastle „	443,9 „	396,7 „
Gewöhnliche Newcastlekohle (Pelton)	745,7 „	

Ein letzter, wichtiger Einwand, den man dieser Verdünnungsmethode hätte machen können, ist auch siegreich von Frankland beseitigt worden. Da die

nichtleuchtenden Gase die kohlenstoffreichen gelöst enthalten, also gleichsam damit beladen sind und da das Auflösungsvermögen mit der Temperatur abnimmt, so konnte man vermuthen, daß im Winter bei niedriger Temperatur die Gase viel von ihrer Leuchtkraft verlieren würden, indem sich die aufgelösten Gase verdichteten und dadurch abschieden. Eigends angestellte Versuche stellen auch hier die Vortheile auf die Seite der neuen Methode. Die auf gewöhnliche Art bereiteten Gase erleiden einen weit größeren Verlust, weil sich in ihnen die kohlenstoffreichen Verbindungen in einem dichteren Zustande befinden und folglich auch mehr dem Einfluß der Kälte ausgesetzt sind. Die Menge der aus 100 Cubikfuß Gas bei 0° condensirten Kohlenwasserstoffe betrug bei der

Boghead Cannelkohle . .	4,42	Cubikfuß
Desgl. mit den Wassergasen .	0,24	=
Methyl Cannelkohle . . .	0,33	=
Desgl. mit den Wassergasen .	0,07	=
Ince Hall Cannelkohle . .	0,37	=

Die Anwendung der Wasserdämpfe bei der Bereitung des Leuchtgases ist keineswegs neu. Selligue in Frankreich befolgte dies Princip schon vor längerer Zeit, jedoch nicht bei Steinkohlen, sondern bei den öligen Destillationsproducten eines bituminösen Schieferthones, der über dem Steinkohlengebirge zwischen dem Canal du Centre und Autun (Saône et Loire), ferner zu Vouvant in der Vendée und zu Faymoreau in reichlicher Menge lagert. Die Berichte der französischen Chemiker Thénard, Dumas und Darcet*) an die Akademie und von Payen an die Société d'Encouragement sprachen sich sehr günstig über die Resultate nach dem neuen Verfahren aus. Aber die Vorgänge hierbei erklärten sie nicht. Ebenfalls ergaben die praktischen Versuche, die in der Königl. Druckerei mit diesem Gase angestellt wurden, ein sehr günstiges Resultat, so daß das Verfahren in den Gasbereitungsanstalten zu Dijon, Straßburg, Antwerpen, Batignoles rc. **) eingeführt wurde. Selligue erhielt für seine wichtige Verbesserung von der Société d'Encouragement und der Académie de l'industrie goldene Medaillen und eben sollte er auch mit der der Ausstellung von 1839 und mit dem Kreuz der Ehrenlegion decorirt werden, als es ruchbar wurde, daß Selligue die wichtige Verbesserung, für deren Erfinder er bisher gegolten, um 10,000 Frcs. und den dritten Theil des Gewinnes von Jobard gekauft hatte. Noch heute wird Selligue's Methode in den technologischen Handbüchern, selbst in den neuesten, rühmend hervorgehoben, wenn gleich man eingesteht, daß die Angaben der französischen Chemiker in starkem Widerspruch mit sich selbst stehen, indem die angegebene Quantität und Leuchtkraft sich der Theorie nach aus den zum Grunde liegenden Details in keiner Weise rechtfertigen lasse. Frankland hat uns den Schlüssel gegeben; in Frankreich unterließ man es, den Vorgang genau zu studiren und daher folgte die Strafe sehr bald nach. Nach Nachrichten aus Frankreich selbst ***) ist diese so sehr gerühmte Methode schon längst wieder den Weg alles Fleisches gegangen, aber nicht etwa weil das Princip, sondern nur weil die Ein-

*) Compt. rend. 1839. p. 140.
**) Compt. rend. 1840. Sem. I. p. 372.
***) Figuier, histoire des principales découvertes scientifiques modernes. T. II. p. 195.

richtung zur Darstellung mangelhaft war. Hätte man sich Einsicht in den Vorgang zu verschaffen gewußt, dann wäre es bestimmt leicht gewesen, den Mängeln abzuhelfen.

Ein solcher Schiefer, der noch jetzt zu anderen Zwecken in Frankreich fabrikmäßig verarbeitet wird, kommt auch in Deutschland in reichlicher Menge vor und es ist wirklich unglaublich, wie wenig man die von der Natur dargebotenen Schätze zu verwerthen weiß. Ein solches Schieferlager tritt z. B. in dem Stufenlande längs des Gebirgsrandes der schwäbischen und fränkischen Alp vom Rhein bis zum Main in einer Ausdehnung von mehr als 60 Meilen auf und dieser Schatz ruht todt im Schooße der Erde. Nur in der Heimath der Hohenstaufen hat man seinen Werth theilweise erkannt, indem man die festen schwarzen Schiefer an einigen Orten zum Bauen verwendet. Ueber diesen aber ruht eine wenigstens 8 Fuß mächtige Schicht eines schwarzen bituminösen Mergelschiefers, die Begräbnißstätte von Millionen vorweltlicher Thiere, in Folge deren Zerstörung die Schieferschicht wie mit Oel getränkt ist. Die Natur selbst hat Fingerzeige gegeben, diesen Schatz zu heben, indem zur Zeit Eberhard III. (1628 bis 74) durch Fahrlässigkeit in einer Schiefergrube — 1/4 Stunde vom Wunderbade Boll — Feuer auskam, dessen Niemand Herr werden konnte und das erst nach sechs Jahren erlosch. Aber auf den Gedanken, diesen großen Vorrath eines trefflich brennenden Oeles zu verwerthen, kam man nicht *). Und doch wäre hier eine Fabrikeinrichtung so leicht; das Feuermaterial würden die Gase, die gleichzeitig bei der trockenen Destillation des Schiefers entstehen, liefern, wenn sie an Ort und Stelle nicht als Leuchtgas benutzt werden könnten. Wie sich dergleichen werthvoll verarbeiten lasse, das zeigt in neuester Zeit die Augustenhütte zu Beuel bei Bonn.

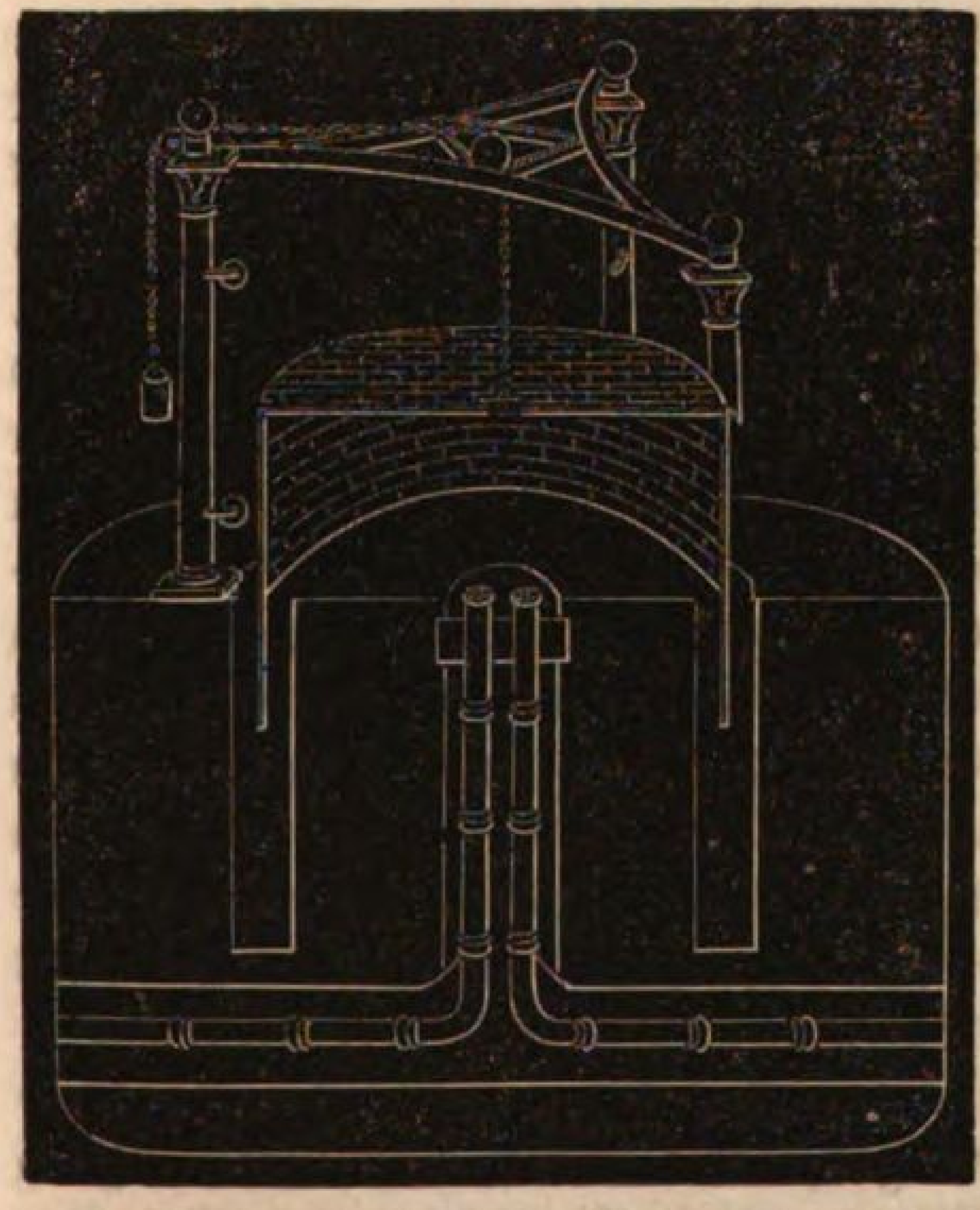
Verfolgen wir nun den Weg des gereinigten Gases weiter bis zu dem Verbrauchsorte. Wir haben schon angedeutet, daß bei der gewöhnlichen Beleuchtung mit Kerzen und Lampen Erzeugung und Verbrauch des Gases gleichzeitig stattfindet, während bei der sogenannten Gasbeleuchtung beide Processe gesondert vor sich gehen. Diese Sonderung hat eintreten müssen, da beide Vorgänge nicht so genau regulirt werden können, daß sie wie dort mit einander gleichen Schritt halten. Man kann nicht zu einer Zeit genau so viel Gas entwickeln, als gebraucht wird und dann würde der Druck, unter dem das Gas in den Brennern ausströmte, ein sehr veränderlicher sein. Hiervon hängt aber die Menge des Gases ab, welche ausströmt; die Flamme würde mithin eine sehr unstete sein. Um nun eine helle, gleichförmige Flamme zu erzielen, bedarf es einer Einrichtung, die eine Ausgleichung zwischen der Gaserzeugung und dem Verbrauch zu Wege bringt. Dazu dienen nun eigene Apparate — mehr weite, als hohe Glocken aus Eisenblech, ähnlich wie die Dampfkessel zusammengenietet, die mit Hülfe einer über eine Rolle gehenden Kette und eines Gegengewichtes an einem eisernen Gerüste aufgehängt und umgestürzt, und so mit dem offenen Ende in ein Wasserbehälter eingesenkt sind. In diese leitet man das Gas. Der Name Gasometer, den sie führen, ist unpassend gewählt, denn sie dienen keineswegs dazu, die Menge des Gases anzugeben, sind also keine Gasmesser, sondern nur einfach Vorrathskammern, und somit ist der Name, mit welchem sie in England belegt sind, Gasholders oder Gasbehälter, ungleich richtiger.

---

*) Quenstedt, Anzeige der akademischen Feier des Geburtstages des Königs von Würtemberg. Tübingen 1847.

In das Innere der Glocke führen zwei Röhren, durch deren eine das Gas, nachdem es die Reinigungsapparate passirt hat, in die Glocke eintritt. Die andere dient dem Gase als Ausweg zu den Brennern hin. Durch das Wasser wird die Glocke abgesperrt, d. h. das Gas in der Glocke zurückgehalten und die Communication mit der Luft, das Entweichen abgeschnitten. Absolut vollständig wird das Letztere jedoch nicht erreicht; in einem geringen Maße entweicht das Gas durch das Wasser hindurch. Um diesen Verlust möglichst zu verhindern, gießt man auf das Wasser eine Schicht Theer, welche gleichzeitig die nicht unbedeutende Verdunstung des Wassers verlangsamt und von diesem in einem gewissen Grade die Einwirkung der Kälte abhält. Bei strengem und anhaltendem Froste jedoch kann man das Wasser vor dem Gefrieren nur dadurch schützen, daß man von Zeit zu Zeit heiße Wasserdämpfe hineinleitet. Den Austritt des Gases durch die vielen Nietstellen der Glocke selbst verhindert man durch mehrfache Theeranstriche, die zugleich die zerstörende Einwirkung der feuchten Luft, des Rostes, abhalten.

Die Wasserbehälter, in welche die Glocken eintauchen, führt man bei größeren Apparaten, wo sie oft einen Durchmesser bis zu $127\frac{1}{2}$ Fuß und eine Höhe bis zu 50 Fuß haben, von Backsteinen mit Hülfe von hydraulischem Kalk auf. Um die mannichfachen Uebelstände, welche so bedeutende Wassermassen, wie sie hier erforderlich sind, — bis zu 80,000 Ohm — verursachen, zu verringern, führt man in der Mitte einen bedeutenden Kern von Mauerwerk auf, so daß der Wasserbehälter, wie es beistehende Fig. zeigt, nur ein ringförmiger ist. In neuerer Zeit baut man namentlich in England und Belgien, wo das Eisen in einem niedrigeren Preise steht, riesenhafte Bottiche aus gußeisernen Platten, die mittelst erhabener Ränder fest zusammengeschraubt werden. Auch bei uns findet man dergleichen jetzt; so z. B. in Berlin, wo einer bei einer Höhe von $19\frac{1}{2}$ Fuß und einem Durchmesser von 59 Fuß 3445 Ctr. wiegt und 31,818 Ctr. Wasser faßt. Die hierzu gehörende Gasglocke hat ein Gewicht von 55 Ctr.



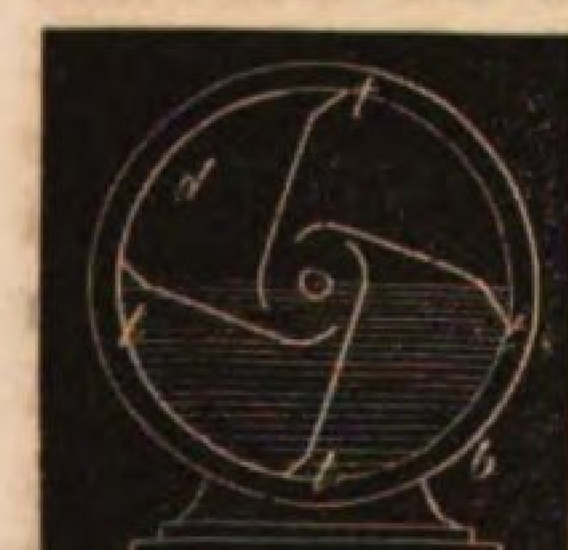
Bei dem Füllen des Gasometers ist das Ableitungsrohr durch einen Hahn verschlossen. Durch diese Absperrung nach Außen sammelt sich das Gas in dem Behälter an und hebt diesen nach und nach empor. Ist er ganz gefüllt, d. h. hat er den höchsten Stand erreicht, ohne ganz aus dem Wasser gehoben zu sein, so wird auch das Rohr, welches die Verbindung mit der Retorte herstellt, durch einen Hahn geschlossen und dadurch jede Communication nach Außen abgeschnitten. Durch Oeffnen des Hahnes in dem Ableitungsrohr kann zu jeder beliebigen Zeit das erforderliche Gas ausströmen. Da man nun nicht zu gleicher Zeit das Gas ein- und ausströmen lassen kann, sind mehrere Behälter nothwendig, in der Regel — bei kleineren Werken — faßt

ein jeder $^2/_5$ der Menge des Gases, die an einem Tage verbraucht wird. Man hat dann zwei Gasometer und einen dritten für unvorhergesehene Fälle in Reserve; das letzte Fünftel wird während des Verbrauchs selbst dargestellt. Die Größe ist natürlich sehr verschieden; man hat sie bis zu 350,000 Cubikfuß Inhalt. So z. B. in Berlin bei der englischen Gascompagnie von 100 Fuß Durchmesser und 45 Fuß Höhe.

Da in größeren Städten der Boden, die Grundfläche für die Gasbehälter, sehr theuer ist, so kam es darauf an Behälter zu construiren, welche dieselbe Gasmenge auf einer kleinen Bodenfläche fassen. Diesen Vortheil gewähren die von Tait angegebenen sogenannten teleskopischen Gasometer. Der Name rührt her von der Aehnlichkeit mit den Fernröhren; die Gasometer bestehen nämlich aus mehreren in einander geschichteten Gliedern, die bei der Füllung sich wie die Fernröhre ausziehen. Die Einrichtung ist folgende: die innere Trommel ist an dem unteren Rande nach Außen aufgebogen, wodurch ringsum eine mehrere Zoll hohe ringförmige Rinne gebildet wird; in diese faßt nun eine Umbiegung der äußeren Trommel ein. Die Rinne ist mit Wasser gefüllt und dadurch der Verschluß hergestellt. Zuerst füllt sich die innere Trommel und ist diese hoch gestiegen, so faßt die Umbiegung ein und nun steigt auch die äußere.

Der Gasbehälter hat außer dem angegebenen noch einen zweiten Zweck zu erfüllen, nämlich den, daß das Gas beständig unter einem bestimmten Druck — von 1 bis $3^1/_2$ Zoll Wasser — ausströmt. Dies ist nun dem Anscheine nach sehr leicht zu bewirken; man hat nur die Trommel so zu beschweren, daß das Sperrwasser außen um die angegebene Größe höher steht als innen. Diesen Druck kann man natürlich sehr leicht herstellen, aber durch das Sinken der Glocke wird er jeden Augenblick verändert. Das Gewicht der Glocke nimmt immer mehr ab, je tiefer sie in das Wasser einsinkt, und folglich auch das Gewicht, welches auf dem Gase lastet und das Ausströmen regulirt. Dazu kommt weiter, daß die Zahl der Flammen zu verschiedenen Stunden eine sehr verschiedene ist und auch davon hängt das Ausströmen des Gases ab. Alle diese Umstände machen eine genaue Regulirung des Druckes, die durchaus erforderlich ist, wenn die Flammen gleichmäßig brennen sollen, sehr schwierig und deshalb hat man sie in neuerer Zeit ganz von dem Gasbehälter getrennt, durch den man sie früher durch ein sorgsames Arbeiten der Kette, bei der das jedesmal abgewickelte Stück genau halb so viel wiegen mußte, als das in derselben Zeit verdrängte Sperrwasser, zu erreichen suchte, und eigenen Hülfsmitteln übertragen. Diese gehören mit zu den Glanzpunkten unter den sinnreichen Fabrikeinrichtungen, mit denen uns die letzte Zeit beschenkt hat.

In größeren Anstalten finden wir ein eigenes Zimmer, in welchem durch geeignete Apparate eine genaue Controlle des ganzen Betriebes — der Gaserzeugung und Vertheilung — ausgeführt wird. Einen genauen Bericht über den Gang der Gaserzeugung erhält man durch den eigentlichen Gasmesser.



Durch ihn muß die ganze Menge des Gases auf dem Wege von der Retorte zum Gasbehälter hindurch passiren und so erhält man Auskunft über die Production und die Zeit, in der sie stattgefunden hat. In einem cylindrischen Gefäß aus Eisenblech bewegt sich ein zweites von ähnlicher Form, das durch Zwischenwände in mehrere Abtheilungen d getheilt ist, um seine Axe. Bis über die Hälfte ist das Gefäß mit

Wasser gefüllt und dadurch werden die Ausgänge t einiger Abtheilungen, in die das Gas zunächst eintritt, gesperrt. Durch das Eintreten des Gases werden diese Abtheilungen aus dem Wasser gehoben, wodurch die Bewegung um die Axe hervorgebracht wird. Dadurch wird der Ausgang für das Gas frei, aber andere Abtheilungen befinden sich wieder unter dem Wasser und sind dadurch gesperrt. Diese füllen sich wieder, steigen auf und entleeren sich, wie die ersten und so fort, so lange überhaupt Gas durchströmt. Kennt man nun die Größe der Abtheilungen, so kann man aus der Zahl der Umdrehungen sehr leicht die Menge des erzeugten und durchpassirten Gases berechnen. Es kommt also darauf an, diese zur Darstellung zu bringen. Dies erreicht man auf folgende Weise.

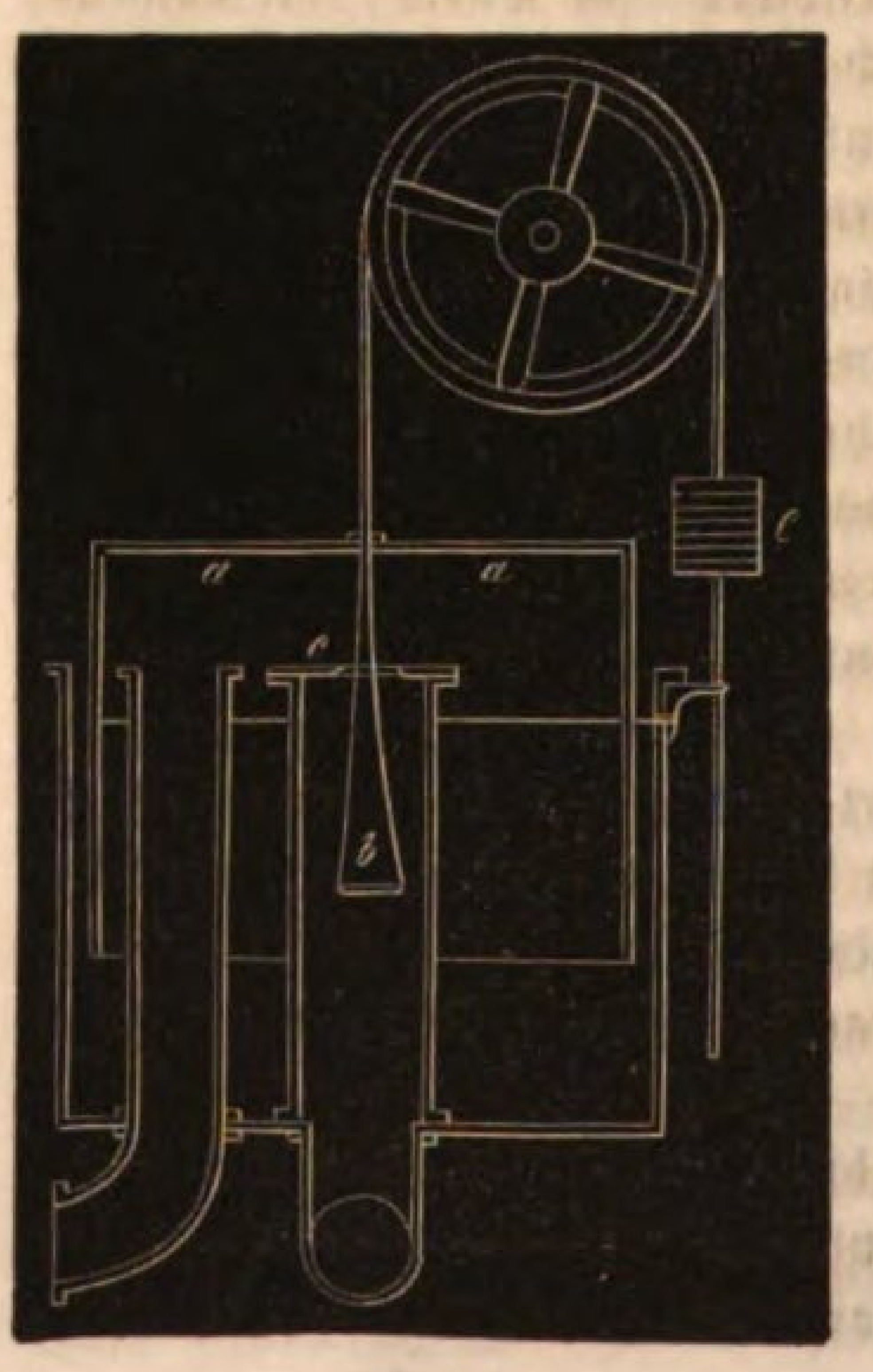
An der Vorderwand des Kastens, in welchem sich die angegebenen Apparate befinden, ist in der Mitte auf der Verlängerung des Rades der Axe eine Metallscheibe aufgezogen, die sich mit dem Rade auf gleiche Weise umdreht. Die Bewegung des Rades wird zugleich durch ein System von Zahnrädern auf die Zeiger von vier kleinen emaillirten Zifferblättern übertragen, die in einem Bogen unter der Scheibe neben einander geordnet sind. Die Zeiger bewegen sich nun ungleich, so daß der eine die Tausende, der andere die Hunderte, der dritte die Zehner und der vierte die Einer der durchpassirten Cubikfuße Gas angiebt. In jedem Augenblicke kann man also den Betrag des erzeugten Gases ablesen.

Mit dem Gasmesser ist nun eine richtig gehende Uhr verbunden, die genau die Zeit angiebt, in der die durchpassirte Menge Gas erzeugt worden ist. Der Minutenzeiger trägt an seinem breiteren Ende eine kleine Scheibe, mit welcher der Zeiger auf seine Axe aufgezogen ist. An der Peripherie der Scheibe ist eine mechanische Hand angebracht, d. h. ein um seinen Befestigungspunkt drehbares Metallstäbchen, das mit einem eingespannten Bleistift bis auf die Papierscheibe reicht und an diese leicht angedrückt wird. Die Papierscheibe dreht sich gleich mit dem Meßrade im Innern um ihre Axe und deshalb beschreibt die Spitze des Bleistiftes innerhalb der Zeit einer Umdrehung des Minutenzeigers, also in jeder Stunde, auf dem in gleiche Theile getheilten Rande der Papierscheibe eine Curve, die abwechselnd aus convexen und concaven Bogen von gleicher Krümmung besteht und die Theilstriche durchschneidet. Der Zeiger rückt nun stufenweise fort und daher erscheint die Curve wie von einer zitternden Hand gezeichnet; doch ist sie in ihrem allgemeinen Verlaufe vollkommen regelmäßig, so lange keine Störungen im Betriebe vorfallen. Treten diese aber ein, z. B. durch Auswechseln der Retorten oder wenn einige Arbeiter in der Nacht schlafen, statt auf ihrem Posten zu sein, so ist die Bewegung der Scheibe langsamer, weil weniger Gas durch den Messer hindurchgeht und in Folge dessen nimmt der betreffende Bogen eine viel gekrümmtere Gestalt an. Solche Störungen machen sich also in der Zeichnung gleich bemerkbar und man erkennt auch die Zeit, in der sie stattgefunden. Alle zwölf Stunden wird eine neue Scheibe aufgezogen; alle werden aufbewahrt und zwar in chronologischer Ordnung, um in gewissen Zeitabschnitten mit den Betriebsregistern, mit der Abgabe des Gases nach Außen hin, verglichen zu werden. Die Striche der Theilung auf der Scheibe geben die Gasmenge und der darauf gezeichnete Bogen die dazu gehörige Zeit, in der sie erzeugt worden ist, an.

Die Einrichtung, durch welche der Druck des abströmenden Gases gemessen wird, befindet sich an jeder Hauptleitungsröhre. Die Anfänge dieser Hauptarme sind der besseren Uebersicht wegen an einer Wand eines besonderen Zimmers neben einander

angeordnet. Bei seinem Eintritt in das Leitungsrohr passirt das Gas ein Federventil, welches die Stelle eines Hahnes versieht und beliebig gestellt werden kann. Durch einen kurzen senkrechten Arm gelangt das Gas in den Indicator, der den Druck anzeigt, unter dem das Gas ausströmt. In dem Kopfe des Rohres ist ein kleiner Gasbehälter angebracht, dessen Trommel auf der Verlängerung der Axe einen senkrechten Stab als Index trägt. Dieser steigt mit wachsendem Druck und steht niedriger mit abnehmendem und daraus erkennt man die jedesmalige Stärke des Druckes. Der Druck, welcher zu jeder Stunde je nach der Zahl der Flammen erforderlich, ist jeder Anstalt aus der Erfahrung bekannt und besonders von ihr ermittelt worden.

Der Druck regulirt sich hier nicht selbst, sondern dies übernimmt, durch gehörige Stellung des Ventiles, ein eigener Aufseher, der sorgsam den Gang des Indicator verfolgt und sogleich einschreiten muß, wenn der Stab von dem ihm vorgeschriebenen Wege abweicht. Auch hier zeichnet der Stab seinen Weg selbst auf Papier. Für jeden Datum ist ein gedrucktes, rechteckiges Blatt vorräthig, das durch parallele, horizontale und verticale Linien als Abscissen und Ordinaten in gleiche Vierecke getheilt ist. Die Abstände der horizontalen Linien bedeuten die Druckhöhe einer Wassersäule in Zollen, die der verticalen die Stunden, und danach sind beide Reihen mit den entsprechenden Ziffern versehen. Für jeden Tag nun sind die Druckhöhen für die verschiedenen Stunden bekannt und demnach auch bezeichnet. So erhält man durch Verbindungslinien den Weg, welchen der anzeigende Stab zu nehmen und den der Aufseher zu reguliren hat. Beide, Vorschrift und wirkliche Bewegung des Stabes, werden nun so zu sagen sich gegenüber gestellt. Der Stab trägt eine Hülse mit einem Bleistift. Das Papierblatt ist um einen verticalen Cylinder so aufgezogen, daß die Stundenlinien mit seiner Axe parallel laufen. Der Cylinder wird durch ein Uhrwerk so gedreht, daß in jeder Stunde gerade eine Stundencolumne vorrückt. Hierdurch ist also die Zeit gegeben, die auf- und abgehende Bewegung des Stabes mit dem Bleistift zeigt die entsprechende Druckhöhe an und die Bleilinie müßte eigentlich mit der im Voraus aufgetragenen congruent sein, doch zittert sie in der Wirklichkeit in sehr kleinen Auszackungen rechts und links darüber hinaus. Der Aufseher vergleicht nun unaufhörlich die Züge der Bleistifte für die verschiedenen Hauptleitungen mit der Vorschrift und ordnet darnach den Druck. Die Blätter werden gleichfalls sorgsam aufbewahrt und bilden eine Art von Tagebuch für den Gasdruck.



Es ist vielfach versucht worden, Einrichtungen zu construiren, die die Regulirung des Druckes selbst besorgen. Dergleichen, die in England den Namen Governors führen, sind in großer Zahl vorgeschlagen, doch werden sie in Wirklichkeit wenig angewendet. Eine der einfachsten ist die von Clegg ausgedachte, die wir in beistehender Figur vorführen. Zu dem Ende ist die Gasleitung unterbrochen; beide Enden

derselben münden unter einem kleinen Apparat a nach Art der Gasbehälter. An der Trommel, die durch das Gegengewicht e leicht beweglich ist, befindet sich ein Kegel b, der bei Abnahme des Druckes, wo die Trommel und mit ihr der Dorn sinkt, die Oeffnung c der Gasröhre freier macht und so den Gaszufluß vermehrt. Bei stärkerem Druck, wo Trommel und Kegel steigen, verengt sich die Ausströmungsöffnung und der Gaszufluß wird also vermindert.

Der Druck, unter welchen das Gas gesetzt werden muß, um bis an das entfernteste Ziel der Leitung zu gelangen und hier in den feinen Oeffnungen der Brenner mit gehöriger Geschwindigkeit, also in erforderlicher Menge auszuströmen, hängt ab von der Anzahl der Flammen, der Länge der Leitung und der Weite der einzelnen Röhren.

Aus den Gasbehältern wird das Gas durch ein Röhrensystem, welches sich in einer gewissen Tiefe unter dem Straßenpflaster über den ganzen Raum, der beleuchtet werden soll, verbreitet, bis zu dem Orte geführt, wo es verbrannt wird. Diese Nothwendigkeit, der Preis der Röhren selbst und der Aufwand, welchen das Legen derselben erfordert, ist mit einer der Hauptumstände, durch welchen die Einrichtungskosten einer Gasbeleuchtung so enorm gesteigert werden. Die Hauptleitung durch die Straßen besteht in der Regel aus gußeisernen Röhren. In Frankreich hat man sie mit Vortheil in Hinsicht auf die Kosten durch Blechröhren ersetzt, die innen verzinnt, außen aber mit einer dicken Lage von Asphalt und Sand überzogen sind. Durch die große Verwendung, welche sie fanden, sah sich die Akademie der Wissenschaften veranlaßt, Chameroy, der diesen Vorschlag gemacht, einen der Monthyon'schen Preise (2500 Frcs.) zu übermachen.

Hier kommt nun dreierlei in Betracht: die Weite der Leitung, die Verbindung der einzelnen Stücke und die nothwendigen Absperrungen.

Bei dem Durchgange des Gases durch die Röhren findet eine nicht unbedeutende Reibung statt, die also der Schnelligkeit des Gasstromes ein Hinderniß entgegensetzt und somit auch einen nachtheiligen Einfluß auf die Menge des in die Brenner eintretenden Gases ausübt. Dieser Widerstand steigt mit der Enge der Röhren und der Länge des Weges, welchen das Gas zu durchlaufen hat; man kann ihn nicht durch eine Verstärkung des Druckes compensiren, denn diese führt andere Uebelstände herbei. Leichter beseitigt man den Uebelstand dadurch, daß man weitere Röhren anwendet. Bei kleineren Werken darf man hierbei nicht zu sparsam sein und muß man von vorne herein jede mögliche Erweiterung der Brennerzahl, also jede mögliche erhöhte Anforderung an die zum Verbrauch nöthige Gasmenge im Auge haben, um später, wenn eine solche eintreten sollte, nicht zu einem Wechsel mit dem Röhrensystem gezwungen zu sein. Bei Werken von großer Ausdehnung hat selbst die geringste Erweiterung der Röhren einen bedeutenden Mehrverbrauch an Material zur Folge und daher kommt es hier darauf an, genau die rechte Mitte inne zu halten. Und diese lehrt die Theorie.

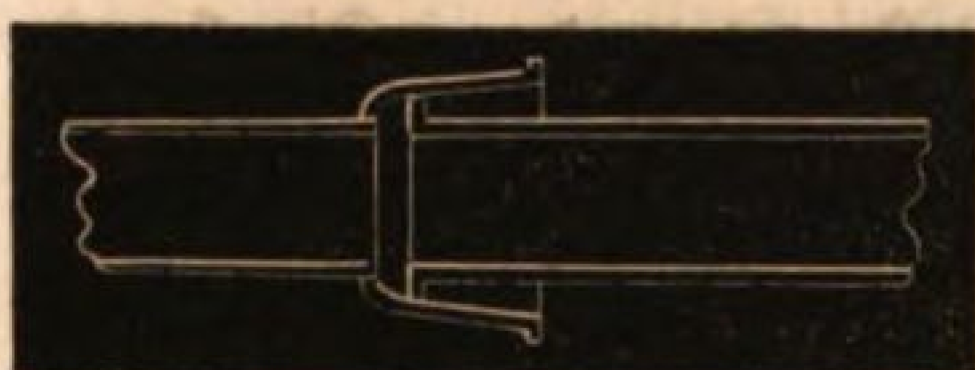
Bleibt der Druck sich gleich, so steht der Widerstand durch Reibung beim Durchgange des Gases durch die Leitungsröhren im umgekehrten Verhältniß mit der Weite und im geraden Verhältniß mit der Wurzel aus der Röhrenlänge (l), so daß die Menge (q) des am Ende ausströmenden Gases mit der Wurzel l ab- und mit dem Quadrate des Durchmessers (d) zunimmt. Im Allgemeinen ist die Formel $q = \frac{d^2}{\sqrt{l}}$. Die Erfahrung lehrt, daß eine Röhre von 79 Meter Länge

bei einem Durchmesser von 0,025 Meter in der Stunde $6\frac{1}{4}$ Cubikmeter Gas durchläßt. Aus der Gleichung $q : \frac{d^2}{\sqrt{1}} = 6,25 : \frac{0,025^2}{\sqrt{79}}$ ergiebt sich aber

$$d = \sqrt{\frac{q\sqrt{1}}{88896}}$$ in Meter.

In größeren Anstalten sind die Röhrenleitungen an ihrem Ursprunge meistens 1 Fuß weit und nehmen bei ihrer Verzweigung im Verhältniß bis zur Hälfte ab. Liegen die äußersten Punkte, bis zu denen das Gas geführt wird, sehr weit von der Bereitungsanstalt ab, so stellt man an verschiedenen Orten Gasbehälter auf. Man kann dann den Durchmesser der Röhren bedeutend verringern und erzielt eine größere Sicherheit für die Regelmäßigkeit des Dienstes.

Wie die einzelnen, 9 bis 10 Fuß langen Röhren mit einander verbunden werden, verdeutlicht beistehende Figur. Auf diese Verbindung, die durch Fett und Werg oder besser noch durch geschmolzenes Blei hergestellt wird, muß große Sorgfalt verwendet werden, um Verlusten an Gas vorzubeugen. Dem Gase jeden Ausweg zu verschließen hält bei der großen Ausdehnung des Röhrensystemes sehr schwer und doch muß man suchen, es möglich zu machen, weil die Ausfälle sehr bedeutende sein können. So konnte z. B. ein englisches Gaswerk, obgleich das Gas jedem einzelnen Consumenten zugemessen wurde, 75 Proc. des erzeugten Gases nicht verrechnen. Zu dem Verlust an Gas tritt noch hinzu, daß zu gleicher Zeit auch atmosphärische Luft durch die Röhre hindurch sich dem Leuchtgase beimischt und die Leuchtkraft desselben bedeutend schwächt. Graham fand in einem solchen Falle eine Beimischung von 25 Proc. Luft innerhalb 12 Stunden.



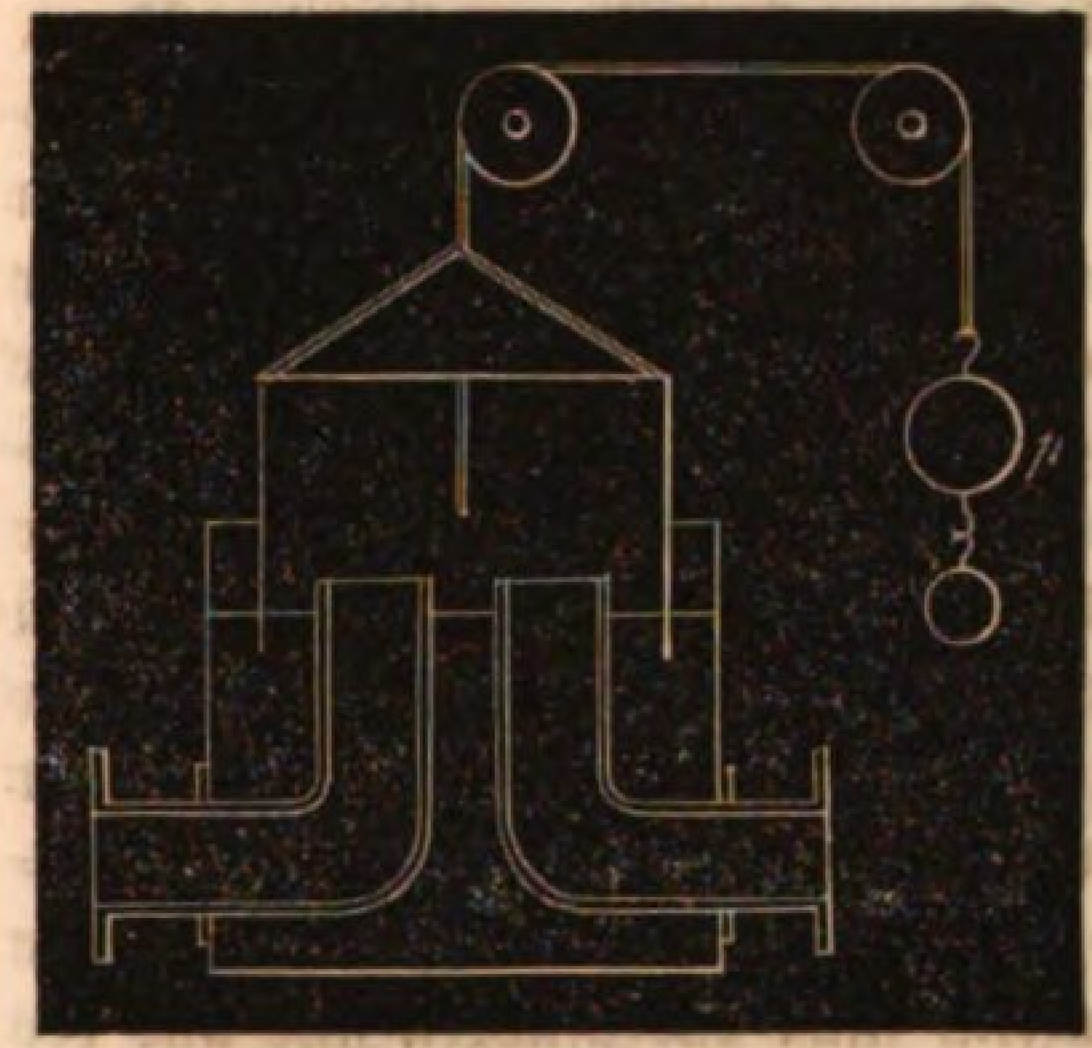
Deshalb prüft man auch jede einzelne Röhre, bevor man sie in die Erde legt, auf undichte Stellen dadurch, daß man unter Wasser Luft in sie hineinpreßt. Durch das Aufsteigen von Gasblasen, von der entweichenden Luft herrührend, werden die undichten Stellen erkannt. Entweder werden solche Röhren ganz verworfen oder die fehlerhaften Stellen ausgebohrt und mittelst eingeschraubter Bolzen die Oeffnungen wieder luftdicht verschlossen. Wie nothwendig diese Prüfung vorgenommen werden muß, sieht man daraus, daß sich in Berlin unter 1000 Röhren durchschnittlich 31 Stück fanden, die man verwerfen mußte.

Schwieriger ist es den luftdichten Verschluß fortdauernd in der ganzen Ausdehnung der Leitung zu erhalten, ein Umstand, der bedeutende Kosten verursacht, da man den Ort, wo eine Stelle schadhaft, bei der unterirdischen Leitung nicht leicht ausmitteln kann.

Durch die Abkühlung und Reinigung des Gases werden nicht alle Verbindungen daraus abgeschieden, die tropfbarflüssige oder feste Form anzunehmen vermögen. Daher findet später in der Leitung immer noch ein Absetzen dieser Verbindungen statt. So z. B. setzt sich das Naphthalin, auch Steinkohlenkamphor genannt, ein fester krystallinischer Kohlenwasserstoff, oft pfundweise in den Röhren ab, glücklicherweise aber gleich zu Anfange noch innerhalb der Anstalt selbst, so daß es leicht entfernt werden kann, ohne Störungen zu verursachen. Weitere

Verdichtungen zu Flüssigkeiten finden auf dem ganzen Wege des Gases statt und deshalb müssen hier und da an tiefer liegenden Orten Behälter angebracht werden, so daß sich die Flüssigkeiten hier ansammeln können, um einer Verstopfung der Leitungsröhren vorzubeugen.

Gewisser Verhältnisse wegen, so z. B. bei statthabenden Feuersbrünsten, ist es zuweilen nothwendig das Gas von einzelnen Leitungen ganz abzusperren. Dazu dienen geeignete Vorkehrungen an leicht zugänglichen Stellen, — entweder einfache Hähne oder hydraulische Ventile, wie beistehende Figur zeigt. Wird hier das untere Gewicht p entfernt, so senkt sich die Trommel, die Scheidewand tritt in das Wasser und die Communication zwischen beiden Röhren ist unterbrochen.



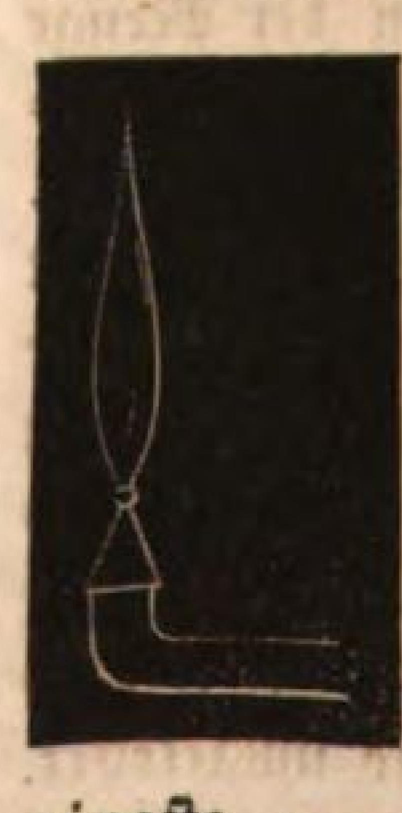
Von den Hauptleitungsröhren, welche die Straßen zu beiden Seiten der Häuserreihen der Länge nach durchziehen, gehen nun die Nebenleitungen für die öffentlichen Laternen oder für die Flammen in den Häusern ab. Sie sind meistens von Blei mit einem Zusatz von Zinn, obgleich diese Mischung wegen ihrer Weichheit und leichten Schmelzbarkeit am wenigsten zu empfehlen wäre. Sie sind sehr leicht zu beschädigen und dann ist dem Gase ein Ausweg gewährt. Namentlich bei Feuersbrünsten schmelzen sie leicht ab, wo dann das in Menge ausströmende Gas die Macht des vernichtenden Feindes bedeutend verstärkt. Vortheilhafter, wenn gleich theurer, sind daher Röhren aus einem härteren Metall wie Eisen und Messing. Kupfer ist nicht zu empfehlen; es bildet sich in solchen ein pulveriger Absatz, der durch die Eigenschaft sich an der Luft von selbst zu entzünden, gefährlich werden kann.

An einigen Orten hat man, um die Gasleitungen wenigstens der Hauptsache nach zu vermeiden, die Einrichtung getroffen, das Gas in luftdichten Schläuchen zu den Consumenten zu tragen und hier kleinere Gasbehälter damit zu füllen. Gewonnen wird dadurch wohl nicht viel und daher ist diese Einrichtung auch nicht sehr verbreitet.

Mit zu den wichtigsten Theilen der ganzen Einrichtung gehören die Brenner, die Mündungen, aus denen das Gas austritt, um angezündet zu werden. Die Beschaffenheit der Flamme, ihre Helle und Stetigkeit, hängt ab von der Menge des ausströmenden Gases; diese muß mit der Luftmenge, die während der Verbrennung zuströmt und an dieser Theil nimmt, im gehörigen Verhältniß stehen. Findet ein solches nicht statt, wiegt das Gas vor, so rußt die Flamme, weil nicht aller Kohlenstoff verbrennen kann, entströmt zu wenig Gas, so brennt die Flamme blau und leuchtet wenig, weil eine gleichzeitige Verbrennung des Kohlenstoffs mit dem Wasserstoff stattfindet. Eben so hängt aber auch die Flamme von der Geschwindigkeit ab, mit der das Gas ausströmt. Strömt es zu rasch aus, so wird dadurch die umgebende Luft in eine zu starke Bewegung gesetzt und wir haben wieder dieselbe Erscheinung, als wenn zu viel Gas ausströmt und eben so umgekehrt. Der ganze Nutzeffect hängt also mit einem Worte von dem Drucke ab, unter dem

das Gas ausströmt, denn dieser bedingt die Menge und Geschwindigkeit des ausströmenden Gases. Nun sind aber die Brenner, je nach den verschiedenen Zwecken, denen sie dienen sollen, verschieden eingerichtet, d. h. die Flammen erfordern sehr ungleiche Gasmengen, so daß diese durch den gleichförmigen Druck, wie er in den Gaswerken hergestellt wird, nicht erzielt werden können. Dazu kommt die verschiedene Entfernung der einzelnen Brenner von den Anstalten und mithin auch die verschiedene Reibung, der das Gas auf seinem Wege ausgesetzt ist und die wieder Einfluß auf den Druck ausübt, eben so wie die stets wechselnde Zahl der brennenden Flammen. Alle diese Umstände wirken nachtheilig auf die Flamme zurück, denn das Verhältniß zwischen Gas und Luft ist sehr empfindlich und leicht zu stören. Die Wirkung aller dieser Störungen muß also durch eine eigene Vorrichtung aufgehoben werden und dazu dienen die Hähne, die zugleich das Gas ganz absperren können. Durch eine verschiedene Stellung des Hahnes, je nachdem man ihn mehr schließt oder öffnet, wird die Ausströmung des Gases immer wieder in das richtige Verhältniß gebracht. Das lästige dieser Regelung hat in neuester Zeit Veranlassung zu vielfachen Einrichtungen gegeben, die selbstthätig jede Veränderung in der Flamme corrigiren. Jedoch findet man die Unbequemlichkeiten nicht so groß, daß man sich dadurch zu Geldausgaben hat verleiten lassen, weshalb denn auch diese Einrichtungen nicht allgemeine Verbreitung gefunden haben. Meistens verrichtet der Consument selbst das Amt eines Regulators. An öffentlichen Orten, Theatern, Kaffeehäusern 2c. jedoch findet man sie, weil hier, der großen Anzahl der Flammen wegen, diese Operationen durch Einzelne nicht auszuführen sind und der Schaden, den durch das Rußen der Flammen die oft kostbaren Decorationen erleiden, zu groß ist.

Die Leitungsröhren der Brenner, gewöhnlich aus Messing gefertigt, hängen theils von der Decke herab oder sind auch an der Wand befestigt und durch Kugelcharniere nach allen Richtungen hin beweglich. Sie enden in einen Knopf oder eine Platte von Schmiedeeisen und hierin sind die Oeffnungen für das Gas gebohrt. Im Allgemeinen müssen sie mit der Natur des Gases im Verhältniß stehen; leuchtet es weniger, so sind sie weiter, leuchtet es mehr, dann sind sie enger. Von ihrer Anordnung hängt die Flamme ab und da diese je nach dem Zwecke eine verschiedene ist, so ist auch die Einrichtung der Ausflußöffnungen eine verschiedene. Die gebräuchlichsten Brenner sind: der einfache Strahl, der Hahnensporn, der Fischschwanz, der Fledermausflügel und der Argandsche Brenner. So viel Verbesserungen hier auch im Laufe der Zeit eingetreten sind, so erreicht man doch nicht immer eine durchaus vollständige Verbrennung des Gases. Die Einrichtungen sind daher immer noch mehr oder weniger unvollkommen und dafür geben die Rußablagerungen an den Decken der Zimmer hinreichend Beweise.

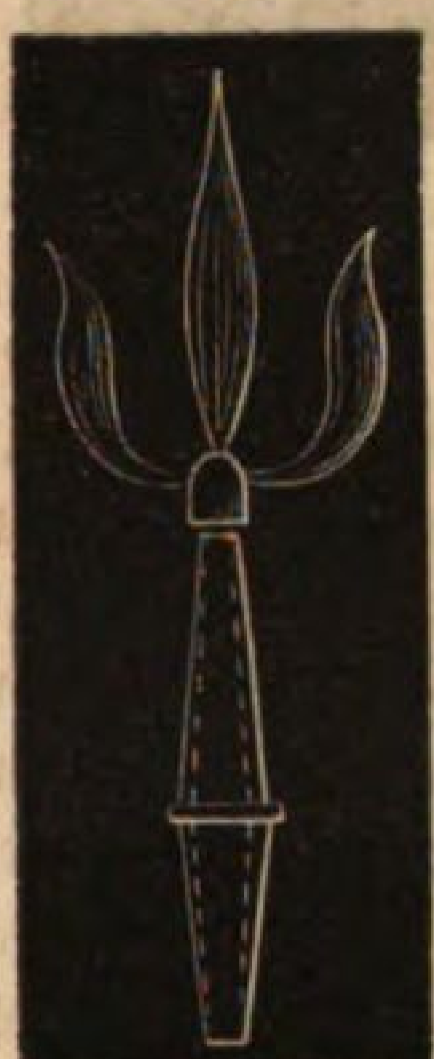


Bei dem einfachen Strahl in beistehender Figur ist in den Brenner eine einfache gerade Oeffnung in der Richtung der Axe gebohrt. Die Flamme ist lang, kegelförmig, im Verhältniß zur Höhe sehr schmal, mit einem kreisförmigen Querschnitt. Bei Kohlengas beträgt die Oeffnung $^1/_{15}$ Zoll, bei Oelgas $^1/_{28}$ Zoll. Die Flamme ist zwar blendend weiß, die Wirkung aber dennoch hier die geringste. — Sind 3 Oeffnungen in den Brenner gebohrt, so erhält man eben so

viele von einander getrennte Strahlen, die den Hahnensporn (Fig. I.) bilden; oft strömt das Gas aus mehreren Oeffnungen wie in (Fig. II.) aus.

Um die Helligkeit der Flamme mehr zu steigern, plattet man sie ab, d. h. man vergrößert die Oberfläche im Verhältniß zum Inhalt. Um dies zu erreichen, bohrt man in den Brenner zwei runde Oeffnungen, die nach innen aus einander gehen, unter einem bestimmten Winkel ein (Fig. III.). Die dadurch entstehenden beiden einfachen Strahlen schneiden sich bei ihrem Austritt und erleiden eine Abplattung, die, wie Fig. IV. zeigt, zu dem Namen Fischschwanz Veranlassung gegeben hat. Beim Fledermausflügel (Fig. V.), schon mehr eine Luxusflamme, besonders zur Beleuchtung der Straßen und Läden dienend, ist der runde Knopf in der Mitte durch eine feine Spalte getrennt (Fig. VI.). Alle diese Flammen

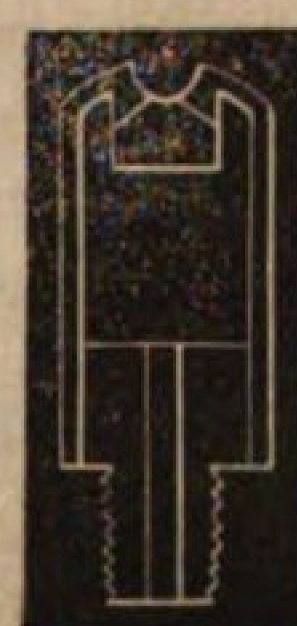
I.



II.



III.



IV.

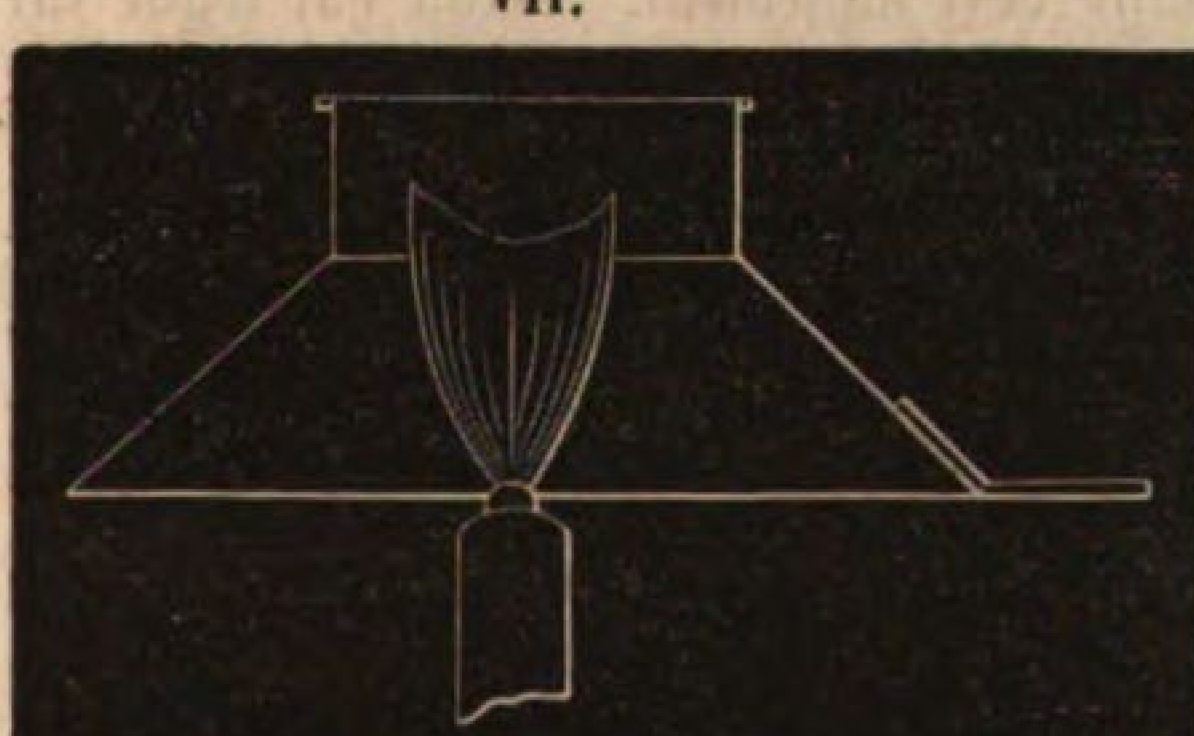


V. u. VI.



läßt man frei brennen, sie sind also dem Spiele des Luftzuge un erworfen. Dadurch gerathen die Flammen in eine fortwährend zitternde Bewegung, wodurch beim Lesen oder Schreiben die Augen sehr angegriffen werden. In neuester Zeit ist es beim Fischschwanz oder schottischen Brenner, der sonst eine vortreffliche Flamme liefert, durch ein einfaches und sinnreiches Mittel gelungen, diesen Uebelstand zu beseitigen. Die zitternde Bewegung beschränkt sich hier auf den oberen Rand. Eschwede in Hannover hat daher einen Schirm construirt (Fig. VII.), bei welchem, da der obere flackernde Theil sich oberhalb der Einziehung befindet, von den schrägen, weiß lackirten Wänden nur das ruhige Licht reflectirt wird. Nach Heeren ist bei richtiger Stellung des Schirmes die Wirkung so vollkommen, daß kaum eine Spur von unruhiger Beleuchtung zu bemerken ist.

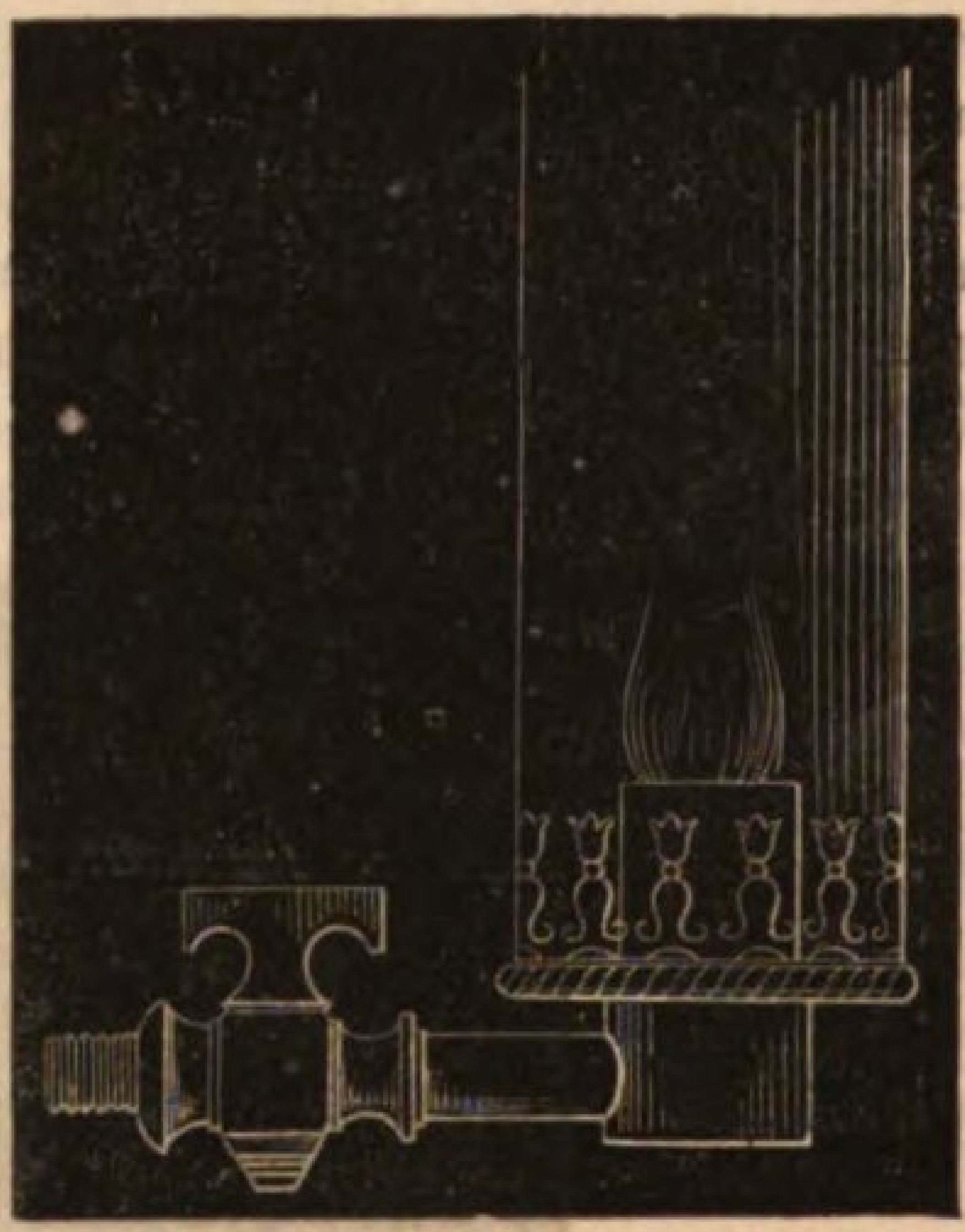
VII.



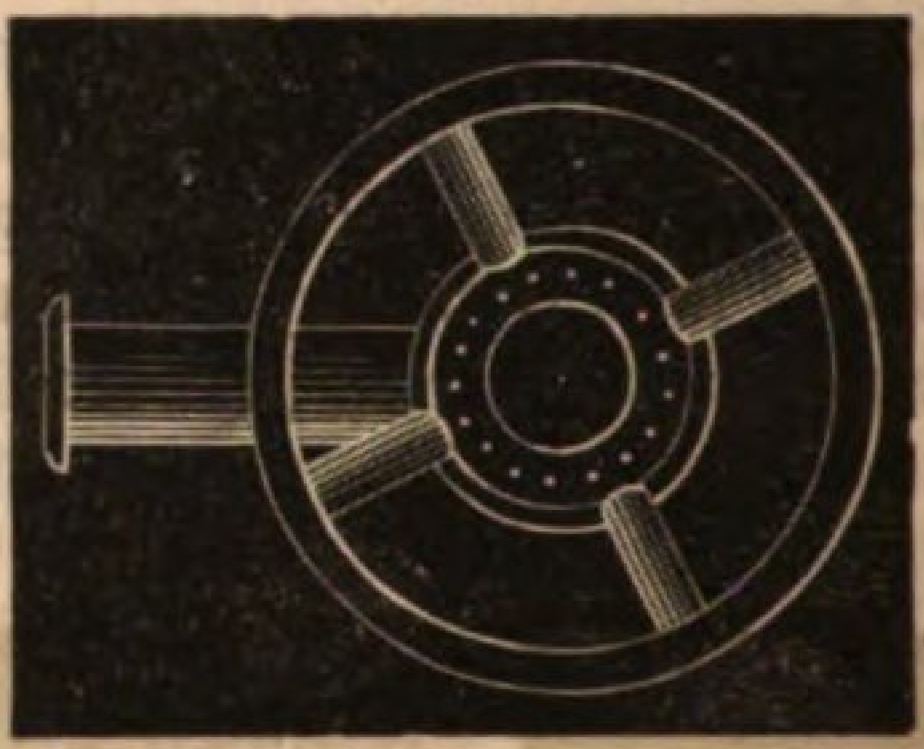
Kommt es darauf an ein helles, ruhiges und stetiges Licht zu erzielen, wie wir es für die Zimmerbeleuchtung brauchen, so haben die Brenner ganz die Ein-

richtung der bekannten Argandschen (Fig. I.), wie wir sie an den Lampen mit hohlen Flammen finden. Die hohle ringförmige Platte des Brenners (Fig. II.) ist durch eine Anzahl feiner Oeffnungen durchbohrt, die in einem gleichen Abstande von einander kreisförmig geordnet sind. Bei gehörigem Effect beträgt die Weite der Oeffnungen für Kohlengas $^1/_{32}$ Z., für Oelgas $^1/_{50}$ Zoll und die der Abstände im ersteren Fall $^1/_8$, im letzteren $^1/_6$ Zoll. Bei einer gleichmäßigen, nicht rußenden Flamme müssen alle Oeffnungen von genau gleicher Größe sein. Wie bei den Lampen ist auch hier die Flamme mit einem Zugglase bedeckt. Eine weißere Flamme erzielt man hier dadurch, daß man an dem Gasleitungsrohre in einiger Entfernung von der Flamme einige Windungen anbringt. Diese werden von der Flamme erwärmt und mithin auch das Gas, welches hindurchströmt. Damit der blendende Glanz der Flamme gemildert und das Licht weithin verbreitet werde, umgiebt man den Cylinder oft noch mit einer Hülle — in Form von Kugeln, Halbkugeln oder Glocken — aus Papier, Porzellan oder mattgeschliffenem Glase. Zu gleicher Zeit erreicht man hierdurch in Folge der Zerstreuung des Lichtes beim Durchgange durch die durchscheinende Hülle noch den Vortheil, daß die von der Flamme beleuchteten Körper nicht so starke Schatten werfen wie gewöhnlich.

I.



II.



Während bei uns die Gasbeleuchtung noch sehr wenig in Familienzimmern anzutreffen ist, begegnet man ihr in England dort allgemein. Man hat sogar für eine weniger beschränkte Beweglichkeit der Brenner gesorgt, die man überhaupt in den elegantesten Formen — als Kronleuchter oder tragbare Lampen antrifft. Die Lampe empfängt ihre Speisung durch eine Kautschukröhre, die mit einer der Zimmerdecoration in der Farbe sich anpassenden Seide übersponnen und so eingerichtet ist, daß die Lampe von ihrem gewöhnlichen Platze in der Mitte der Stube aus nach jedem beliebigen Orte in dem Gemach getragen werden kann. Hat sie ihren Hauptplatz inne, so liegt das Zuleitungsrohr in Kreisen aufgeringelt daneben auf dem Tische. Nach neueren Reisebriefen findet man diese Einrichtung besonders in den Bibliothekzimmern, die in England und Schottland keinem wohleingerichteten Hause fehlen. Hier will man auch jüngst dadurch, daß man auf jeder Seite eines Argand'schen Brenners eine prismatische Linse als Reflector angebracht, den Effect von drei gleich stark leuchtenden Flammen erzielt haben.

Verschiedene Einrichtungen sind angegeben, um bei den Argand'schen Brennern eine Ersparniß an Gas und gleichzeitig doch eine hellere Flamme zu erzielen. Hierher gehören die sogenannten rauchverzehrenden Apparate von Bourgouignon und Hugueny. Der erstere besteht in einer Glasglocke mit gekrümmtem Glasrohre zum Ableiten des condensirten Wassers. Sie wird über dem Cylinder in einer geringen Entfernung angebracht und dadurch der übermäßige Zutritt der Luft verhindert. Die Helligkeit steigt hier von 100 auf 176; bei gleicher Helligkeit erzielt man eine Ersparniß an Gas von $^1/_5$ bis $^1/_4$. Gleiches bewirkt der von Hugueny vorgeschlagene Hut, der eben so über dem Cylinder aufgehängt wird. Nach Versuchen, die in einer Spinnerei ausgeführt worden sind, beträgt hier die Ersparniß an Gas 30 Proc. Taylor und Lowry erreichten diese Vortheile dadurch, daß sie die unteren Luftöffnungen verengerten, den Cylinder verkürzten und über der oberen Oeffnung desselben Drahtgewebe anbrachten. In neuester Zeit hat sich Payen *) in einem Bericht an die französische Akademie sehr günstig über den von Jobard und Breissel construirten Brenner, der eine beträchtlichere Lichtmenge als ein gleiches Gasvolumen bei Anwendung eines gewöhnlichen Brenners liefert, ausgesprochen. Die neue Einrichtung besteht in einer doppelten Hülle von Glas, in Form eines langen cylindrischen Arzneiglases; der Boden dieser Hülle ist unter dem hohlen Ring befestigt, welcher das Gas in den Oeffnungen vertheilt, durch die es zum Verbrennen austritt. Zwischen der Hülle und dem Zugglase bleibt ein freier Raum, durch welchen die Luft in den hohlen Cylinder in der Mitte des Brenners einströmt. Das Gas wird daher bei seiner Verbrennung mit heißer Luft gespeist, also dem Gewichte nach mit weniger Luft als bei den gewöhnlichen Brennern. Deshalb muß auch der Gaszufluß vermindert werden. Das Gesammtlicht nimmt nun zwar ab, da aber der Gasverbrauch in einem viel größeren Verhältniß geringer wird, so findet eine wirkliche Ersparniß statt, die fast ein Drittel an Gas beträgt. Dabei brennt die Flamme ruhiger, als in gewöhnlichen Brennern. Der Ankaufspreis ist jedoch etwas höher und die Handhabung umständlicher und daher wird bei der großen Macht der Gewohnheit diese Verbesserung sich nur langsam Bahn brechen.

An öffentlichen Orten entsteht durch das häufige Oeffnen der Thüren ein nicht unbedeutender Zugwind, der einen bemerkenswerthen Einfluß auf die Gasflamme ausübt, indem er sie abkühlt und dadurch Veranlassung giebt, daß eine beträchtliche Menge Gas unverbrannt fortgeht. Die Flamme rußt nun, da die Hitze nicht ausreicht, allen ausgeschiedenen Kohlenstoff zu verbrennen, verbreitet einen unangenehmen Geruch und flackert, wodurch sie für das Auge lästig wird. Maccard hat diesen Nachtheil dadurch beseitigt, daß er den Brenner von seinem Fuße an bis zum Glasträger mit einem Drahtgewebe, in Form eines Kegels umgiebt, durch welches die zum Verbrennen nöthige Luft hindurchgeht. Payen ertheilt dieser Einrichtung, wodurch gleichzeitig 10 Proc. Gas erspart werden, großes Lob, in Folge dessen sie in den größeren Städten Frankreichs eine große Verbreitung gefunden hat.

Bei der Beleuchtung öffentlicher Plätze, Brücken 2c. wünscht man oft ein intensiveres Licht und sucht auch mehrere kleine Laternen durch eine einzige zu

---

*) Moigno's Cosmos. T. III. p. 693.

ersetzen. Dies erreicht man durch den von Gurney in Paris angegebenen Budebrenner, der nach dem Argand'schen construirt ist. Zwei, drei, auch mehrere Argand'sche Brenner sind hier in einander geschachtelt und zwar so, daß der innere stets um einige Linien höher steht als der äußere. Einen noch größeren Effect erzielt man, wenn man die Oeffnungen so anordnet, daß sie nicht eine einzige runde Flamme, sondern einen Ring von vielen einzelnen flachen Flammen bilden. Man schachtelt auch hier wieder die Ringe in einander, so daß der innere um einen Zoll höher steht, als der äußere.

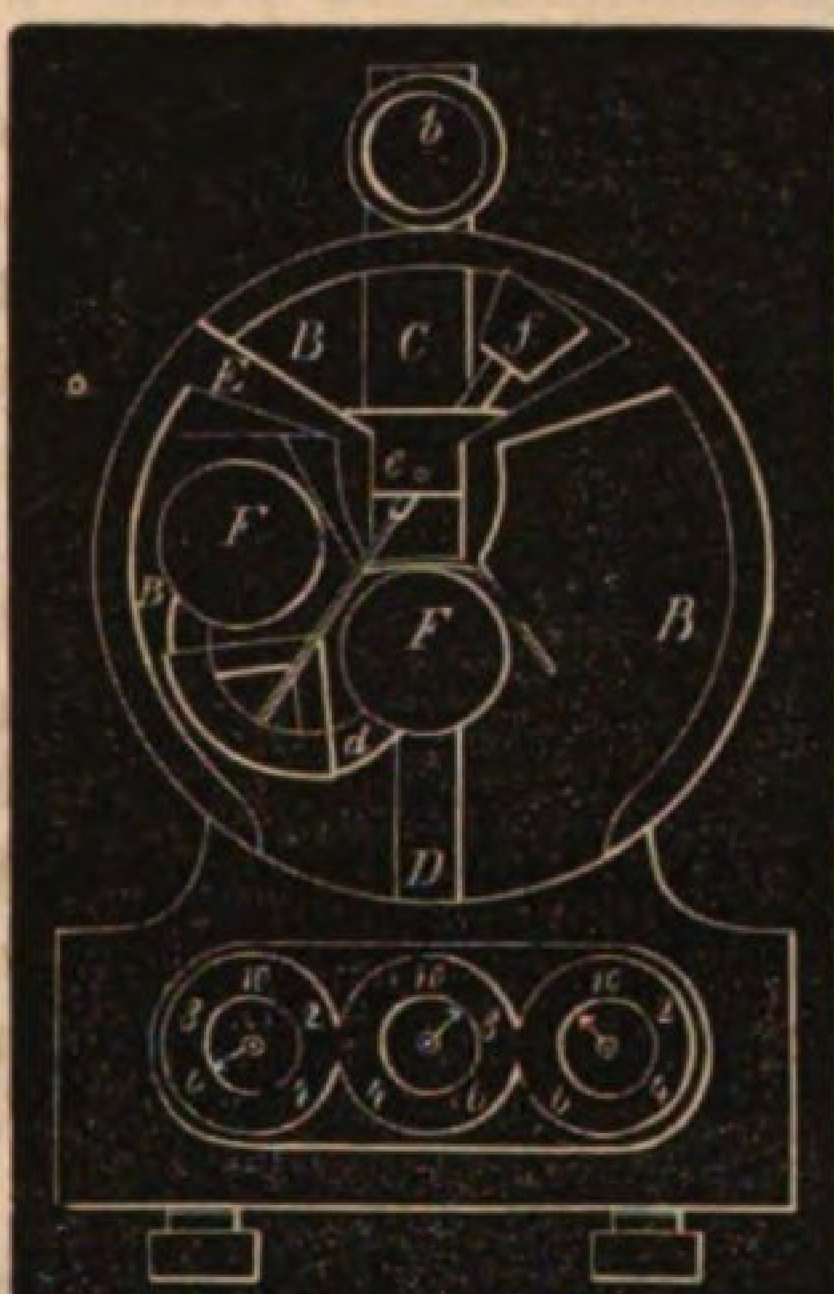
In der ersten Zeit der Gasbeleuchtung normirte man die Preise nach der Zeit, während welcher man sich einer Flamme bedienen wollte; aber bald stellte es sich heraus, daß dieses System für die Anstalt mit großen Nachtheilen verbunden war. Der Rechtlichkeitssinn ist in den Menschen zu wenig ausgebildet, als daß man sich dadurch abhalten ließe die Flammen beträchtlich länger brennen zu lassen, als man ein Recht dazu hat. Dergleichen Beobachtungen zu machen hält nicht schwer. Bei einer Revision, die an einem Wintertage in Berlin zwischen 10 und 1 Uhr Mittags abgehalten wurde, ertappte man von 600 Abnehmern 316, also über die Hälfte, die einer Defraudation gegen die Anstalt sich schuldig machten. — Ein anderer Grund, warum eine große Menge Gas verbrannt wurde, ohne bezahlt zu werden, bestand darin, daß man den Hahn, den Ausweg des Gases weiter öffnete, als nöthig war. Wie groß unter solchen Umständen die Verluste für die Anstalt werden können, zeigt uns Berlin. Im Betriebsjahre 1849 — 50 gingen auf diese Art $39\frac{1}{2}$ Mill. Cubikfuß Gas von $172\frac{1}{3}$ Mill. — also 23 Proc., fast ein Viertel verloren; im folgenden Jahre, wo man wegen der gemachten unerfreulichen Erfahrungen die Aufsicht verschärfte, verminderte sich der Verlust auf $21\frac{3}{4}$ Mill. von $161\frac{1}{3}$ — also auf 13,5 Proc. Eine genügende Controlle zu üben, die allen Verlusten vorbeugt, ist jedoch für die Anstalt unmöglich. Die Ausfälle sind zu bedeutend und so mußte auf andere Art Rath geschafft werden.

Jetzt ist es daher gebräuchlich den Consumenten das Gas nach dem Maße zu verkaufen. Zu dem Ende passirt das Gas, bevor es in den Brenner gelangt, einen ähnlichen Apparat, wie wir ihn bereits oben beschrieben haben, jedoch von kleineren Dimensionen. Das Princip ist dasselbe, die Einrichtung aber etwas abweichend. Sie zerfallen der Hauptsache nach in zwei Classen, in hydraulische und trockene. Zu den ersteren gehört die viel verbreitete Gasuhr, deren Einrichtung mit der bereits beschriebenen übereinstimmt. Die Bedingungen, unter denen ein solcher Apparat genau und regelmäßig arbeitet, sind aber der Art, daß sie in der Praxis nur sehr schwer herzustellen sind. Sollen die Resultate sicher sein, so darf sich das Niveau des Wassers nicht bedeutend verändern und doch geschieht dies sehr leicht dadurch, daß das Gas bei seinem Durchgange durch das Wasser eine beträchtliche Menge desselben mit fortführt. Ihrer Verbesserung hat man die größte Aufmerksamkeit gewidmet. Die technischen Zeitschriften Englands liefern uns ein beträchtliches Heer von Vorschlägen und auch deutsche Techniker haben sich dieser Aufgabe mit Glück zugewendet. So haben z. B. die bekannten Techniker Blochmann, Vater und Sohn, für ihre wesentlichen Verbesserungen, bei denen sie namentlich auf Dauer und Genauigkeit ihr Augenmerk richteten, Patente in Sachsen und Preußen erlangt. Die von ihnen construirten Gasmesser sind so eingerichtet, daß sie zu jeder Zeit corrigirt und mit einer Vorrichtung versehen werden können, welche das fortgerissene Wasser von selbst nachfüllt. Ferner ist der Werth der Angaben

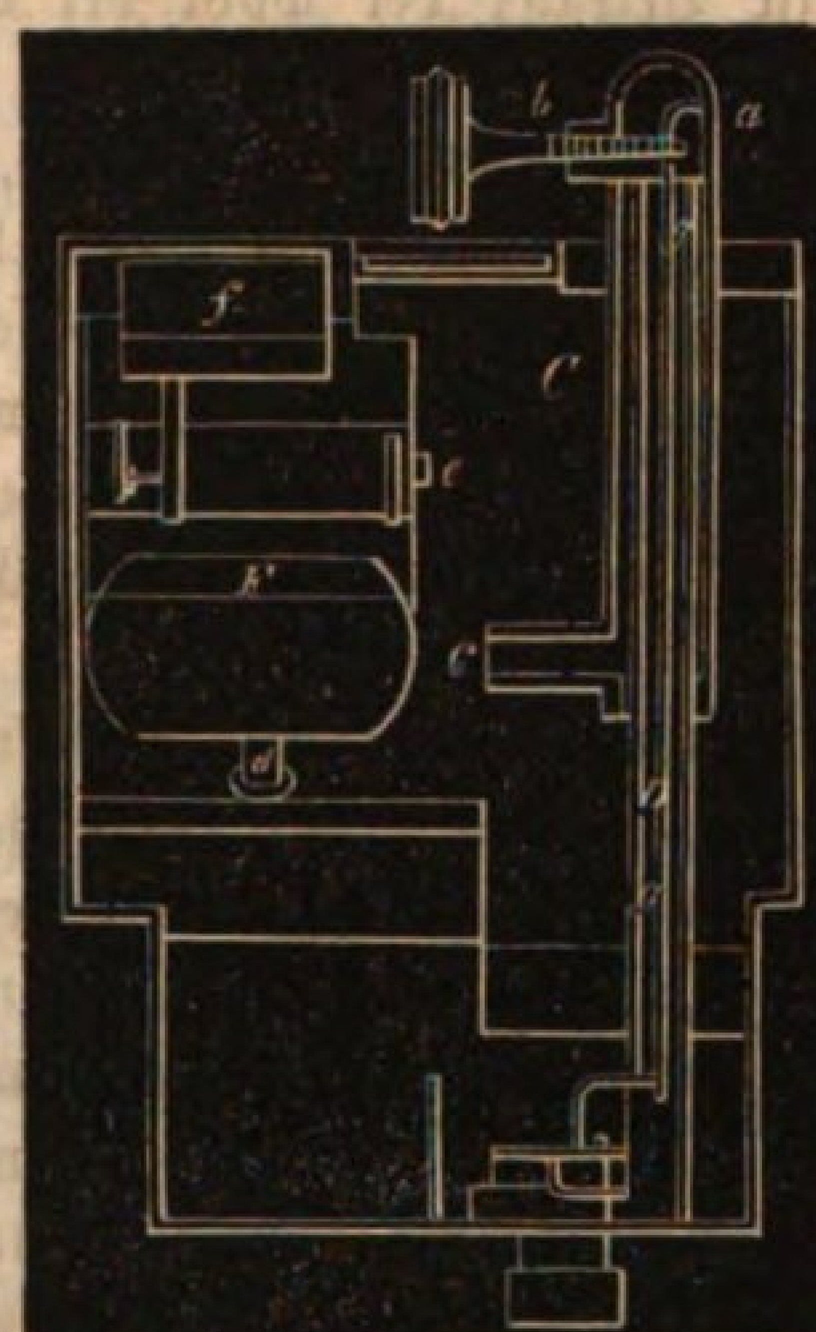
hier bei verschiedenen Temperaturen ungleich; deshalb müssen die Instrumente an einem Orte aufgestellt werden, wo ein möglichst geringer Temperaturwechsel statt hat. Im Winter und Sommer sind diese Unterschiede so bedeutend, daß der Werth des Gases dadurch beträchtlich verändert wird. 1000 Cubikfuß Gas bei 0° sind = 963 Cubikfuß bei — 10° und 1073 Cubikfuß bei + 20°.

Der erwähnten Uebelstände wegen hat man auch trockene Gasmesser construirt und unter diesen ist der von Clegg der verbreitetste. Seine Einrichtung wird durch die Abbildungen Fig. I. und II. verdeutlicht. Das Gas, welches bei A eintritt, circulirt zwischen den doppelten Wänden des Gefäßes B und gelangt theilweise, bevor es den Gasmesser verläßt, in den oberen Theil von C, um bei c in das

I.



II.



Innere auszuströmen, während der Rest durch Oeffnung der krummen Wand des Aufsatzes E eintritt. Bei a wird eine kleine Gasflamme unterhalten und dadurch der Gasstrom im Innern von C erhitzt. Bei seinem Austritt aus c trifft er auf das am tiefsten stehende von zwei zugeschmolzenen Glasgefäßen, die nach Art der Libellen zur Hälfte mit Weingeist gefüllt und luftleer gemacht, durch das Rohr d mit einander communiciren und mittelst eines langen Stabes mit dem Gegengewicht f in Verbindung gesetzt sind, und zwar so, daß dadurch ein um den Mittelpunkt e drehbares System gebildet wird. Durch den Gasstrom wird nun Alkoholdampf erzeugt, der einen Theil der Flüssigkeit in das andere Gefäß hinüberpreßt, diesem dadurch das Uebergewicht ertheilt, so daß es sinkt und die Stelle des vorigen einnimmt, um dasselbe Spiel zu beginnen. Diese oscillirende Bewegung dauert so lange wie das Brennen des Gasstromes bei a. Die Geschwindigkeit dieser Bewegungen hängt ab von der zugeführten Wärme, und dadurch auch von der Gasmenge, die ein bestimmter Bruchtheil von der ganzen, den Apparat durchströmenden Menge ist. Diese wird nun angegeben durch drei Zeiger.

Die Berichte über den Betrieb der städtischen Gasanstalt zu Berlin geben uns genügenden Aufschluß über die Vortheile, welche der Fabrikant aus diesen Ein-

richtungen gezogen hat. Da hier einmal die Contracte nach dem alten Princip abgeschlossen waren, konnten die Gasmesser nur bei neuen Flammen oder mit Bewilligung der Abnehmer eingeführt werden. Am 1. Juli 1850 war das Verhältniß der Flammen nach beiden Seiten hin gleich (1:1), innerhalb eines Jahres aber für die Gaszählerflammen ein bei weitem günstigeres (1 : 2²/₃). Das Endresultat war, daß während des Betriebsjahres 1850 — 51 11 Mill. Cubikfuß Gas weniger dargestellt wurden als im Jahre vorher, obgleich die Zahl der Privatflammen um 2000 gestiegen war. Aehnliches hatte sich schon ein Jahr früher in Dresden bei einer Vermehrung von 578 Flammen herausgestellt. Der Consument geht jetzt weit sparsamer mit dem Gase um, da der Verbrauch nun in ein inniges Verhältniß zu seinem Geldbeutel getreten ist. Bei dem Stettiner Gaswerke, das nur dem Maße nach abgiebt, stellt sich im Laufe des Jahres der Verlust auf höchstens 6 bis 8 Proc., ein Betrag, der wohl bei der größten Sorgfalt und Umsicht nicht zu vermeiden ist.

Wir dürfen aber nicht verhehlen, daß wegen der durchgehends mangelnden Concurrenz wohl der Producent durch diese Einrichtung geschützt ist, aber keineswegs der Consument. Ist das Gas schlecht, so leuchtet es weniger; der Hahn am Brenner muß daher mehr geöffnet werden und es wird eine größere Menge Gas verbrannt und bezahlt, als nöthig gewesen wäre. Dieser Einwurf ist bei den jetzigen Verhältnissen, unter denen die Gaswerke immer noch arbeiten, nicht unwichtig.

Das Leuchtgas hat die Eigenschaft, mit der atmosphärischen Luft ein explodirendes Gemenge zu bilden. Die Gefahren, welche deshalb nothwendigerweise im Gefolge der Gasbeleuchtung auftreten sollten, malte sich die Phantasie greller aus, als sie die Wirklichkeit später zeigte. Eine Beruhigung für die furchtsamen Gemüther mußte schon der Umstand gewähren, daß im Anfange der Verwendung des Steinkohlengases im Großen, wo man mit dieser gefährlichen Eigenschaft noch nicht so genau bekannt war, sehr wenig Vorfälle dieser Art stattfanden. Dessen ungeachtet sind von verschiedenen Gelehrten in London, Paris und auch bei uns Untersuchungen über die Explodirbarkeit des Leuchtgases angestellt worden, die uns belehrt haben, daß keinerlei Gefahr — bei gehöriger Vorsicht — weder von den Gasbehältern noch von der Röhrenleitung zu fürchten ist. Je nach der Beschaffenheit des Leuchtgases, welches zu diesen Untersuchungen diente, fielen auch die Resultate verschieden aus. Wir werden uns hier begnügen, die Resultate anzuführen, zu welchen Erdmann und W. Weber in Leipzig gelangten. Veranlassung zu den Versuchen gab das Vorhaben, in der Stadt selbst einen großen Gasbehälter aufzustellen, bei welcher Gelegenheit viele Unglück weissagende Stimmen laut wurden. Wir erfahren hier, daß Gemische von 3 Raumtheilen Leuchtgas mit 1 Raumtheil atmosphärischer Luft bis herab zu solchen, die auf 1 Raumtheil des ersteren 3 Raumtheile der letzteren enthalten, beim Entzünden nur langsam abbrennen; enthalten sie aber mehr Luft — bis zu 10 Raumtheilen — so brennen sie zwar plötzlich ab, jedoch ist die Kraftäußerung mit der des eigentlichen Knallgases oder des Pulvers durchaus nicht zu vergleichen. Die Anlage eines großen Gasbehälters inmitten einer Stadt ist also nicht gefährlicher, als die Anhäufung von Brennstoffen überhaupt. Zudem giebt man sich ja die größte Mühe, in dem Gasometer eben nur Gas aufzufangen und die Luft fern zu halten. Wo Explosionen bei Gasometern vorgekommen sind, da fanden sie statt, wie noch jüngst in Königsberg,

weil Gas aus ihnen entwichen und sich in dem Aufstellungsgebäude mit der Luft gemischt hatte. Hier ist die Gefahr aber sehr leicht durch einen lebhaften Luftwechsel zu beseitigen. Wie wenig gefährlich selbst die Explosion eines großen Gasbehälters ist, zeigt uns ein unglücklicher Vorfall in Manchester, wo ein Gasbehälter platzte. Die Ursache war der Muthwille eines betrunkenen Arbeiters, der atmosphärische Luft in den Gasbehälter einließ und dann das explosive Gemisch anzündete. Der entstandene Schaden war nicht bedeutend; der Gasbehälter selbst flog nicht in die Luft, wie man es befürchtete und weder das Gebäude, noch der Arbeiter, der die Unbesonnenheit beging, wurden im geringsten beschädigt.

In den Häusern, wo das Gas verbraucht wird, ist eben so wenig Gefahr zu befürchten, wenn nicht alle Vorsicht bei Seite gesetzt wird. Die Praxis selbst liefert den Beweis auch hier hinreichend. Natürlich sind die Hähne der Leitung zu verschließen, sobald die Flamme ausgelöscht wird und verschlossen zu halten, so lange das Gas nicht brennt; sollte diese Vorsicht versäumt oder die Leitung undicht geworden sein, so hat man sich zu hüten, mit einem Licht in diesen Raum einzutreten, bevor nicht während einer beträchtlichen Zeit ein starker Luftwechsel stattgefunden hat. Die Gefahr wird dadurch vermindert, daß die Beimengung des Leuchtgases in der Luft sich sogleich durch einen unangenehmen, dem Leuchtgase eigenen Geruch anzeigt. Ueberhaupt sind ja die Gemächer nie genau luftdicht verschlossen, so daß das Gas ganz in ihnen zurückgehalten wird. Daher hält es sehr schwer ein Gemisch herzustellen, in welchem es am heftigsten explodirt. — In England hält man das Leuchtgas, seitdem die Resultate der Untersuchungen, welche eine vom Parlament 1824 eingesetzte Commission durch Humphry Davy und andere Chemiker vornehmen ließ, bekannt sind, für so wenig gefährlich, daß Londoner Versicherungsanstalten gegen Feuersgefahr sogar von solchen Häusern, die mit Leuchtgas beleuchtet werden, weniger Prämien erheben, als von solchen, in denen man sich der Kerzen und Lampen bedient.

Wir haben noch die Vortheile und Nachtheile der Gasbeleuchtung im Vergleich zu den übrigen älteren Beleuchtungsarten zu erwägen. Einige der ersteren von geringer Bedeutung liegen sogleich auf der Hand. Sie würden jedoch nicht ausgereicht haben, dem Gaslicht Eingang zu verschaffen, wenn die Lichtstärke des Gases nicht beträchtlich größer, und zugleich noch beträchtlich billiger gewesen wäre im Vergleich zu der Beleuchtung mit Kerzen oder Oel. Dergleichen Untersuchungen, so wie über den Werth der verschiedenen Gase unter sich, sind zahlreich angestellt worden. Folgende Punkte kommen hierbei in Frage: die Lichtmenge, welche entwickelt wird und der Verbrauch an Material in gleicher Zeit. Das Resultat dieser Fragen im Verein mit den Kosten des Materials geben uns die Mittel, den Werth der verschiedenen Beleuchtungsarten genau fest zu stellen.

Die Bestimmungen der Lichtintensität bei den Leuchtgasen müssen natürlich ihrer ungleichen Beschaffenheit wegen sehr verschieden ausfallen. So giebt Brande an, daß für die Stunde 5,1 Cubikfuß Oelgas und 13,75 Cubikfuß Steinkohlengas erforderlich seien, um das Licht von 10 Wachskerzen hervorzubringen. Die Leuchtkraft des Oelgases stellt sich hiernach 2,6 Mal größer als die des Steinkohlengases. Nach einer anderen Bestimmung fällt sie 3,6 fach aus, denn um das Licht einer Carcel'schen Lampe hervorzubringen, gebrauchte man 6,85 Cubikfuß Steinkohlengas und nur 1,9 Cubikfuß Oelgas. Nach einem Bericht Hedley's

an das Parlament beträgt die Leuchtkraft des Steinkohlengases an 12 Hauptorten in England zwischen dem 4,408 und dem 1,645 fachen einer Talgkerze, die Gasconsumtion hierbei zwischen 0,825 bis 1,3 Cubikfuß, wobei jedoch der größere Verbrauch auf die schwächeren Lichtintensitäten fällt. Der Preis für 1000 Cubikfuß Gas schwankt zwischen $2^4/_7$ und $3^3/_7$ Thlr.

Fyfe hat die Lichtstärke der verschiedenen Brenner unter einander verglichen und hierbei folgendes Verhältniß gefunden. Setzen wir das Licht des gewöhnlichen Brenners gleich 1, so erhalten wir bei gleichem Gasverbrauch für die übrigen folgende Zahlen: kleiner Fischschwanz 1,45, großer 1,53, kleiner Fledermausflügel 1,46, großer 1,87, Argand'scher Brenner mit 40 Löchern 1,74. Nach Hedley verhält sich die Lichtstärke einer 4zölligen Flamme eines einfachen Brenners zu der einer 3,5zölligen eines Argand'schen mit 14 Löchern, wie 1 : 4,4 bis 4,8 bei einem Gasverbrauch von 1 : 3. Bei gleichem Gasverbrauch verhält sich daher die Lichtstärke der beiden Brenner wie 1 : 1,47 bis 1,6.

Bei denselben Brennern und demselben Gase hängt die Lichtstärke der Flamme zwar von der Höhe ab, jedoch wie Christison und Turner gefunden haben, entspringt daraus nur bis zu einem gewissen Grade Vortheil, weil die Lichtstärke nicht immer in einem größeren Verhältniß zunimmt als der Gasverbrauch. So z. B. tritt dieser Punkt ein bei einem gewöhnlichen Brenner, der mit Steinkohlengas gespeist wird, bei 5 Zoll Höhe, beim Oelgas hingegen bei 4 Zoll. Noch auffallender ist das Verhältniß bei dem Argand'schen Brenner. Bei einem gleichen Gasverbrauch verhalten sich hier die Lichtstärken wie

1 : 2,8 : 5,6 : 5,8 : 5,8 : 5,04
bei 1/2 1 2 3 4 5 Zoll Höhe der Flamme.

Die günstigsten Verhältnisse stellen sich heraus, wenn wir die Kosten der verschiedenen Beleuchtungsmethoden mit einander vergleichen. Solche Versuche sind 1850 zu Hamburg angestellt; sie lieferten folgende Resultate. Die Kosten für ein Licht während 12 Stunden, welches dem einer $5^1/_3$ Loth wiegenden und 13 Zoll langen Wachskerze entspricht, betragen für die Gasflamme 3,83 Pfennige, für die Camphinelampe 6,80, für die Uhrlampe 9,26 und für die Wachskerze 82,80 Pfennige. — Andere Versuche gaben folgende Resultate:

Beleuchtungsmittel	Lichtstärke	Verbrauch an Leuchtgas in der Stunde	Leuchtkraft. Uhrlampe = 100	Kosten des Leuchtmittels pro Stunde Pfennige	Kosten bei gleicher Lichtstärke pro Stunde Pfennige
Talgkerze . .	10,66	8,5	54,04	1,282	12,031
Küchenlampe .	6,65	8,0	33,60	0,854	12,823
Lampe mit plattem Dochte .	12,50	11,0	47,5	1,173	9,384
Sinumbralampe	56,00	37,1	63	3,957	7,066
Uhrlampe . .	100,00	42	100	4,478	4,478
Steinkohlengas .	127,00	8,70 Cubikf.		5,966	4,697
Oelgas . . .	127,00	2,43 „		6,48	3,778

In Darmstadt stellte sich jedoch heraus, daß die jetzt allgemein verbreiteten messingenen Schiebelampen ein billigeres Licht lieferten als das dort gebräuchliche, gewiß schlechte transportable Gas. Die Verhältnisse waren hier folgende:

Gas	Oel	Talg	Stearin	Wachs
1 :	0,57 :	1,39 :	2,76 :	4,91.

Aus dem Vorstehenden geht deutlich hervor, daß das Gas bei guter Beschaffenheit ein Licht liefert, welches neben der Schönheit und Weiße auch noch durch einen beträchtlich billigeren Preis vor den übrigen Beleuchtungsarten ausgezeichnet ist. Dazu kommt noch die Leichtigkeit und Sicherheit, mit welcher man die Gasflamme reguliren und die störenden Einflüsse, die bei Lampen und Kerzen des Dochtes wegen unvermeidlich sind, entfernen kann. Dies ist mit einer der Hauptvorzüge des Gaslichtes. Seiner allgemeinen Anwendung stehen jedoch die großen Kosten der Anlagen entgegen; der Verbrauch muß also ein ausgedehnter sein, wenn diese gedeckt werden sollen. Aber auch aus diesem Gesichtspunkte haben wir die Gasbeleuchtung freudig zu begrüßen; sie führt zur Association, zur Vergesellschaftung der Einzelnen, kämpft gegen die Sonderinteressen an und lehrt uns, daß Oesterreichs Wahlspruch: „Viribus unitis" der der gesammten Menschheit zu sein verdient.

Versuche in neuerer Zeit haben jedoch ergeben, daß die Einrichtung der Gasbeleuchtung für größere Wirthschaften, Gasthöfe, Fabriken, öffentliche Belustigungsorte und andere Anstalten sehr gut ausführbar ist. So z. B. kann man in Fabriken ohne Nachtheil die Retorten, welche zur Darstellung des Leuchtgases dienen, mit der Feuerung der Dampfkessel verbinden, wo man dann das Brennmaterial erspart und so die Kosten schon um ein Bedeutendes verringert.

Ein weiterer Nachtheil, der der allgemeinen Benutzung des Gaslichtes hindernd in den Weg tritt, ist der Umstand, daß die Brenner fest stehen und nicht beliebig, je nach Bedürfniß von einem Ort zum andern bewegt werden können. Man hat zwar hier Abhülfe zu schaffen gesucht; sie bleibt aber eine sehr beschränkte. Beide Umstände, die Kostspieligkeit der ausgedehnten Röhrenleitung und die Unbeweglichkeit der Brenner suchte man mit einem Schlage durch das comprimirte Leuchtgas in tragbaren Lampen zu beseitigen. So viele Mühe man sich auch gab, diese Idee in Ausführung zu bringen, so faßte sie doch nicht festen Fuß; die Schwierigkeiten, welche in der Natur der Sache selbst lagen, waren zu groß, sie konnten nicht überwunden werden. Vergebens hat man sich daher selbst in neuester Zeit wieder abgemüht diesen Gedanken, der keine Lebensfähigkeit besitzt, von den Todten aufzuerwecken.

Bevor wir auf einige wichtige Ergebnisse der neuesten Zeit eingehen, wollen wir einige interessante statistische Notizen über die Gasbeleuchtung zusammenstellen. Am meisten eingebürgert ist sie in England; wir finden hier keine Stadt von über 4000 Einwohnern, deren Straßen nicht durch Gas erhellt würden. Die riesigsten Verhältnisse in Bezug auf den Betrieb finden wir natürlich in London. Schon 1819 brannten in London täglich über 51,000 Gasflammen; von 1822 an gerechnet, stieg der Verbrauch an Gas auf das Doppelte in der Zeit von 5 und auf das Vierfache in der von 15 Jahren. 1825 bestanden in Großbritannien bereits 63 vom Parlament privilegirte Gesellschaften in 52 Städten, unter ihnen 5, die Oelgas bereiteten. Die Geschäfte waren so vortheilhaft, daß z. B. die Actien der

Leedscompagnie auf 235 gestiegen waren. Zu dieser Zeit gab die Oelgascompagnie von White Chaptal Boad in London das Aequivalent Gas von einem Pfund Wachskerzen für den geringen Preis von kaum 3 Silbergroschen ab. 1835 arbeitete die Chartered-Compagnie in London nach Brande mit 750 Retorten, deren jede 15 Ctr. wog. Diese Zahl repräsentirte damals den vierten Theil der in London im Betriebe befindlichen Retorten. Die Compagnie unterhielt 42,000 Brenner. Der Gasbedarf für ganz London betrug im Jahre 2400 Mill. Cubikfuß; das dadurch erzeugte Licht ist dem von 160 Mill. Pfund Kerzen gleich. Die hierzu erforderlichen Steinkohlen nehmen einen Raum von 10,800,000 Cubikfuß ein. Neben der gedachten Gesellschaft ist das größte Werk das der London Gas-Light-Company, deren Röhrenleitung eine Länge von 30 deutschen Meilen einnimmt. Sie führt das Gas Brennern zu, die bis auf $1^1/_2$ deutsche Meilen von der Anstalt entfernt liegen. 1840 belief sich die Zahl der Gesellschaften in London auf 12 und die der Werke auf 18, die einen Werth von 19,2 Mill. Thlr. repräsentiren und einen jährlichen Gewinn von 3,08 Mill. Thlr. abwerfen. Der Gasometer waren 146, die zusammen 10 Mill. Cubikfuß Gas faßten. Der Verbrauch an Kohlen belief sich auf 362,880 Tonnen und die daraus erzeugte Gasmenge auf 2646 Mill. Cubikfuß, von denen der längste Abend 13 Mill. oder 17,942 Ctr. Kohlen verbrauchte. In den Anstalten selbst wurden 2500 Personen beschäftigt; das Anzünden der öffentlichen Flammen erforderte allein 380 andere. In dem Gaswerke Peter-Street-Station sind 14 Gasbehälter, jeder von 100 Fuß Durchmesser aufgestellt, die zusammen die ungeheure Menge von 3,248,000 Cubikfuß oder 1000 Ctr. Gas fassen. 1850 verbrauchten allein die in London bestehenden 22 Gasfabriken $^1/_2$ Mill. Tonnen (über 9 Mill. Ctr.) Steinkohlen, aus denen sie 4500 Mill. Cubikfuß Gas erzeugten. Von diesem strömten also täglich nicht weniger als $12^1/_2$ Mill. Cubikfuß durch mehr als $^1/_2$ Mill. Brenner aus. Das Röhrensystem hat eine Ausdehnung von nicht weniger als 450 deutschen Meilen. Für ganz England schlägt man jetzt den jährlichen Verbrauch an Steinkohlen für diesen Zweck auf 6 Mill. Tonnen oder 108 Mill. Ctr. an, eine Zahl, die den wahren Verbrauch noch lange nicht repräsentirt, da in vielen großen Anlagen — Fabriken 2c. — das Gas für den eigenen Bedarf selbst bereitet wird. Berechnen wir hiernach annähernd das Aequivalent an Kerzen, so erhalten wir die kolossale Zahl von 3600 Mill. Pfund!!

Gegen diese großartigen Verhältnisse nehmen sich nun freilich die Zahlen, welche uns Paris und Deutschland gewähren, winzig klein aus. In Paris wurden 1846 aus ungefähr 100,000 Tonnen Steinkohlen 25 Mill. Cubikmeter Gas bereitet und mit diesem 85,000 Flammen gespeist.

In Berlin existiren zwei Gasbereitungsanstalten der städtischen Behörde, von denen die eine den Stadttheil auf dem rechten, die andere den auf dem linken Ufer der Spree versorgt. Jede arbeitet mit 200 Retorten. Die zwei abgesonderten Gasometeranstalten zählen in Summa 7 Gasbehälter mit einem Rauminhalt von zusammen 430,000 Cubikfuß. Innerhalb der Ringmauern der Stadt beträgt die Länge der Röhrenleitung 556,000 Fuß; seit 1850 sind auch die Friedrichs-, Oranienburger- und Rosenthaler Vorstadt mit in den Bereich der Gasbeleuchtung gezogen, so daß die Gesammtlänge der Röhrenleitung über 25 Meilen beträgt. Seitdem ist diese noch beträchtlich erweitert. Oeffentliche Flammen brennen jetzt gegen 5000 und zwar jede jährlich 2460 Stunden. Die Zahl der Privatflammen

überstieg am 1. April 1852 bereits die Zahl von 18,000, wobei jedoch die im Opern- und Schauspielhause brennenden nicht mit eingerechnet sind. Bei der glänzendsten Beleuchtung brennen im Opernhause 2000 Flammen. Die Zahl der Privatflammen ist in neuester Zeit beträchtlich gestiegen, für den Winter 1853 bis 1854 belief sich deren Zahl auf gegen 70,000, von denen mehr als die Hälfte jedoch auf die englische Gasanstalt fällt. Die drei letzten Monate des vergangenen Jahres brachten der städtischen Anstalt allein einen Zuwachs von über 3000. Der Preis des Gases beläuft sich auf $1^2/_3$ Thlr. für 1000 Cubikfuß Gas. Zur Erzeugung des Gases wurden im Jahre 1850—51 5659 Lasten englischer Steinkohlen verwendet und daraus 161,370,212 Cubikfuß Gas erhalten. Auf das Pfund der Steinkohlen von Newcastle rechnet man 5 Cubikfuß des gereinigten Gases. In den längsten Wintertagen wurden täglich 3 Mill. Cubikf. Gas verbraucht und zu deren Erzeugung 5800 Ctr. Kohlen.

Neben diesen Werken bestehen noch zwei der englischen Gesellschaft, die nur Privatflammen dem Maße nach abgiebt. Sie zählen 9 Gasometer, darunter eins von 345,000 Cubikf. Rauminhalt; 210 Retorten sind im Betriebe und die Röhrenstrecke beläuft sich auf $13^3/_4$ Meilen.

Literatur über Gasbeleuchtung im Allgemeinen. — Accum, practical treatise on Gas-Light, London 1815. — Derselbe, description of the process of manufacturing Coal-Gas, Lond. 1819. ins Deutsche übersetzt von Lampadius, Weimar 1819. 2 Bde. — Prechtl, Anleitung zur zweckmäßigsten Einrichtung der Apparate zur Beleuchtung mit Steinkohlengas. Wien 1817. — Pelouze, Vater und Sohn, die Beleuchtung mit Gas aus Stein- und Braunkohlen, Torf, Oel, Fett, mineralischen und vegetabilischen Harzen, übersetzt von Bruhn, Chemnitz 1839. — Peckston, theory and practice of Gas-lighting, 3. edit. London 1841. — Clegg, treatise on the manufacture of Gas, London 1841. — Tabor, vollständiges Handbuch der Gasbeleuchtungskunst, Frankfurt a. M. 1822. 2 Bde.

Die vorstehenden Zahlen geben uns das Recht, Englands Gaserzeugung eine riesige zu nennen, und trotz dem werden sie nach Verlauf weniger Jahre bedeutend überflügelt werden. Der Gasbereitung steht ein erneuter Aufschwung bevor, dessen Ausdehnung wir jetzt kaum ahnen. Dafür bürgen die Erfolge der jüngsten Vergangenheit, die großartige Verwendung des Steinkohlengases in England zu technischen Zwecken und in der Hauswirthschaft als Brennmaterial. Ohne Rückwirkung auf unsere jetzt noch wenig erfreulichen Verhältnisse in diesem Industriezweige werden sie nicht bleiben, doch „ein gut Ding will Weile" haben. Der Durchbruch aber ist erfolgt und der Fortschritt sicher, wenn auch langsam.

Die Wärme ist die Grundlage der gesammten Industrie und doch bedarf nichts so sehr einer Reform an Haupt und Gliedern, wie gerade die Feueranlagen. Die schwarzen Rauchwolken, welche aus den Essen der Fabriken aufsteigen, geben uns den Beweis dafür. Die meisten Uebelstände, durch die ein Wärmeverlust herbeigeführt wird, liegen in der Natur des Brennmaterials begründet, welches wir anwenden. Die Rolle welche die Gase bei dem Verbrennen einnehmen, mußte schon lange die Aufmerksamkeit auf sie lenken. Und in der That wurde bereits bei den ersten Beleuchtungsversuchen mit Steinkohlengas sowohl von Lebon wie Winsor die gleichzeitige Verwendung des Gases zum Kochen und Heizen in der Hauswirthschaft zur Sprache gebracht, — um nicht befolgt und vergessen zu

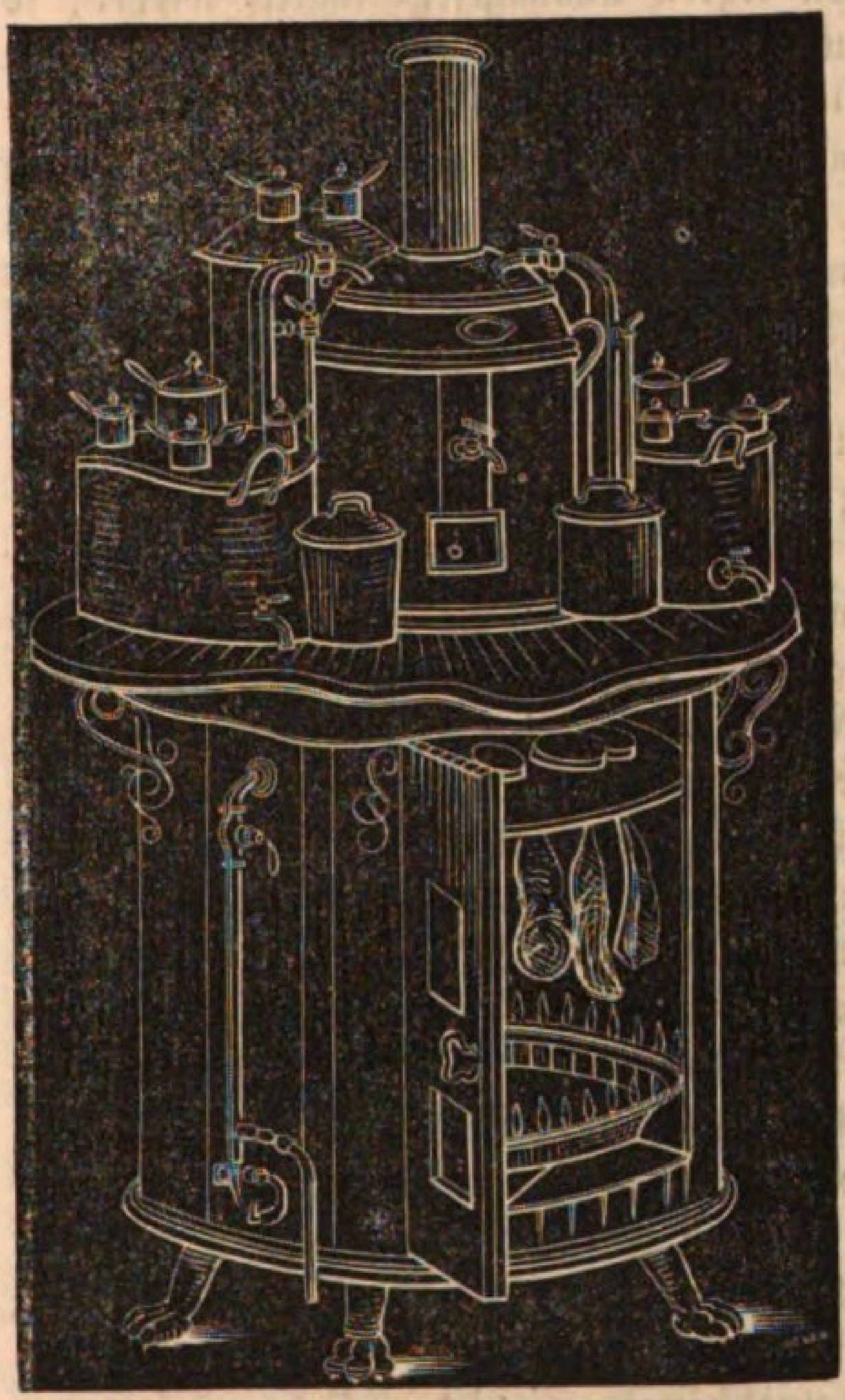
werden. Ja als nach langen Jahren, so 1831 durch den Chirurgen Hicks zu Wimpole Street in der Grafschaft Middlesex, dieser Vorschlag wieder zur Sprache gebracht wurde, verhöhnte man ihn. Der Uebersetzer in Dingler's polytechnischem Journal Bd. XLV. S. 86 giebt dem Herrn Chirurgen den Rath, seine Zeit zu etwas Besserem zu verwenden. Mallet, der auch bald nachher mit diesem Vorschlage hervortrat, spricht es selbst aus, daß er diese Idee schon lange gehegt, aber sich gescheut habe, sie laut werden zu lassen, um von seinen lieben Landsleuten nicht für einen Narren gehalten zu werden. Jetzt ist man vollkommen damit einverstanden, daß es kein zweckmäßigeres Brennmaterial geben kann, als eben die Gase und erhebt den verspotteten Gedanken bis in den Himmel. Doch das ist der gewöhnliche Verlauf der Dinge.

In dieser frühen Zeit schon fanden sich jedoch Einige, die den Werth des Gases auch in dieser Hinsicht erkannten und so wurden hier und da wirklich einige Ausführungen ins Leben gerufen. Allgemeiner geschah dies in den englischen Fabriken, welche bei ihrem bedeutenden Steinkohlenverbrauch das Gas als Nebenproduct gewannen und zwar mehr, als sie zur Beleuchtung nöthig hatten. Die Vortheile der Gasfeuerung fielen sogleich in die Augen: eine Menge Arbeiten fielen fort, — eine doppelte Ersparniß an Zeit und Geld, — die Feuersgefahr wurde verringert, die Gefäße weniger abgenutzt, vor allem aber die Reinlichkeit und die vollständigste Sicherheit in der Leitung der Operation, die beide bei unseren üblichen Anlagen in einem solchen Grade wie hier nie zu erreichen sind. Wie sehr es der Arbeiter in seiner Gewalt hat, mit der größten Genauigkeit die Temperatur zu reguliren, davon nur ein Beispiel. In dem Laboratorium des Professor Gregory wurden etwa 50 Pfund Flüssigkeit mit großer Leichtigkeit durch sechs Wochen hindurch einer Temperatur von 30° R. ausgesetzt, ohne daß diese jemals wechselte.

Doch dauerte es geraume Zeit, bevor sich die Gasfeuerung außerhalb dieses Kreises weitere Bahn brach. Zunächst waren es die Badeanstalten, welche die sichere und schnell heizende Flamme zur Herstellung von warmen Bädern verwendeten; dann ging die neue Methode in die Gasthöfe über. Einmal in weiteren Kreisen bekannt geworden, konnte es nicht fehlen, daß die große Reinlichkeit und Bequemlichkeit für weitere Verbreitung wirkte. Die Gasfeuerung ging in die Hauswirthschaft über und bricht sich Tag für Tag mehr Bahn, hier sowohl, wie auch in der Industrie, wo ihre Anwendung bereits eine große Mannichfaltigkeit zeigt. Die Royal Institution zu London ließ sich die Verbreitung sehr angelegen sein; sie hielt in ihren Räumen fortdauernd Musterherde ausgestellt und nicht allein zur Ansicht, sondern auch zur Einsicht, da täglich mit ihnen experimentirt wurde, um Jedem die Vortrefflichkeit einleuchtend zu machen. Eben so fand man in dem Erfrischungssaale des Glaspalastes während der Ausstellung einen der zierlichsten Apparate in fortwährender Thätigkeit, der gleichzeitig eine überaus große Anziehung auf die weiblichen Besucher der Ausstellung ausübte. Diese Schaustellung erwarb der neuen Einrichtung nicht wenige Freundinnen.

Der Apparat selbst nimmt schon durch seine äußere gefällige Form für sich ein. Umstehende Figur stellt einen solchen dar von Sharp construirt. Die Einrichtung, aus Eisenplatten, ist äußerst einfach und leicht verständlich. Unten brennen die Gasflammen, die von den Röhren links gespeist und durch Hähne regulirt werden. Der innere Raum dient unten zum Braten und oben zum Backen. Das

Kochen findet aber auf der Platte statt, wobei die Gasflammen direct den Boden der Gefäße umspielen. Die Brenner finden sich hier zwischen dem äußeren und inneren Cylinder und sind so vor Zugluft geschützt. Diese Einrichtung hält gleichzeitig die Hitze zusammen und hat für die Hausfrau die Annehmlichkeit, nicht so sehr durch die strahlende Wärme belästigt zu werden. Das große Gefäß in der Mitte dient zu warmem Wasser. Der ganze Apparat nimmt nur einen kleinen Raum ein und läßt sich daher leicht an jedem Orte des Hauses aufstellen. Man rühmt namentlich, daß die Braten ein bedeutend schöneres Aussehen und auch eine größere Schmackhaftigkeit gewonnen haben. Früher war man in England der Ansicht, daß man die Bequemlichkeit und Reinlichkeit der Gasfeuerung werde theuer bezahlen müssen; die Praxis hat aber diese Furcht beseitigt. Bei einem Mittagsmahl für 40 Personen, welches in Glasgow auf einem von Graham construirten Herde angefertigt wurde, beliefen sich die Kosten des verbrauchten Gases auf 6 Silbergroschen.



In der That bei der Anwendung der brennbaren Gase zur Feuerung verschwinden alle Mängel unserer bisherigen Anlagen, die einmal darin bestehen, daß wir die einzelnen Bestandtheile der gebräuchlichen Brennmaterialien nicht in die höchste Orydationsstufe überzuführen, also auch nicht den höchsten Effect zu erzielen vermögen und dann verlieren wir von der Wirkung bedeutend durch die großen Luftmassen, welche durch die Schornsteine abziehen. Ein anderer beträchtlicher Verlust wird durch die in den Brennstoffen enthaltene Feuchtigkeit bewirkt. Die brennbaren Gase eignen sich auch vortheilhaft für Feuerungen im Großen, wie dies der jahrelange Gebrauch in den Eisenhütten und die Anwendungen, welche man in England davon macht, beweisen. Schon 1830 stellte Lampadius in Freiberg Versuche im Großen beim Abtreiben des Bleies an. Sowohl diejenigen Arbeiter, welche sich eines feststehenden Gebläsefeuers, als auch die, welche sich eines beweglichen oder des Löthrohres bedienen, erhalten hierdurch augenblicklich eine sehr intensive Wärmequelle. Alle Industriellen, die Schmelzoperationen in Tiegeln vornehmen, erleichtern sich die Arbeit bei Anwendung der neuen Feuerungsmethode und sparen bedeutend an Gefäßen. Bei der Heizung einer jeden Art von Oefen, bei allen metallurgischen Operationen leistet die intensive Flamme der brennbaren Gase vortreffliche Dienste. Eine gleich bequeme Anwendung läßt sich davon bei jeder Erwärmung, Abdampfung und Concentration von Flüssigkeiten machen. Und nun gar erst unsere häuslichen Ein-

richtungen, obgleich zu den unentbehrlichsten gehörig, haben doch gerade sie die unzureichendsten Verbesserungen erfahren. Die Verschwendung übersteigt hier alle Grenzen. Wie oft muß man hier ein großes Feuer anmachen, wenn man nur einen kleinen Effect erzielen will und mit der Erreichung des Zweckes geht nie auch das Feuer zu Ende. Freilich für den einzelnen Fall sind die Ausfälle nur klein, aber das Leben lang und die Operationen kehren unausgesetzt täglich wieder, so daß viele unbedeutende Posten endlich auch eine bedeutende Summe geben. Dazu kommen noch mancherlei Unbequemlichkeiten und Gefahren, die alle bei der Anwendung der brennbaren Gase fortfallen. Das langweilige Feueranmachen, die lästige Asche, der unerträgliche Rauch, Schornsteinbrände, Feuersbrünste, veranlaßt durch einen Funken oder unachtsam fortgeworfene Asche, die dichten Rauchwolken, welche über unseren bevölkerten Städten lagern und gewiß nicht zur Beförderung der Gesundheit beitragen. Bei dem Gase steht uns momentan das kräftigste Feuer zu Gebote und in demselben Augenblicke, wo die Benutzung aufhört, erlischt durch eine kleine Bewegung der Hand die Flamme.

Deutschland wird nicht anstehen, sich diese Annehmlichkeiten zu eigen zu machen; der Anfang ist wenigstens gemacht. Elsner, der Ingenieur der städtischen Gasanstalt in Berlin, hat sich bereits seit 16 Jahren mit der Lösung dieses Problems beschäftigt. Die Vorgänge in England veranlaßten ihn, mit seinen Einrichtungen endlich hervorzutreten. Er hat eine Menge von Apparaten construirt, die uns die Mannichfaltigkeit der Anwendung anschaulich machen. Sie werden mittelst eines Schlauches von vulkanisirtem Kautschuk mit der Gasleitung verbunden und können an jedem beliebigen Orte aufgestellt und augenblicklich gebraucht werden. Unter ihnen finden wir Apparate zum Kochen, Backen und Braten, auf denen die Speisen mit der größten Reinlichkeit, Bequemlichkeit und Schnelligkeit bereitet werden können und oft schon fertig sind innerhalb der Zeit, die man sonst zum Anmachen des Feuers nöthig hatte. So wird ein Beafsteak innerhalb $2\frac{1}{2}$ bis 3 Minuten durch 1 Cubikfuß, Kaffee für 6 bis 8 Personen innerhalb 4 Minuten durch 2 Cubikfuß und ein 12pfündiger Kalbsbraten in 20 bis 25 Minuten durch 12 Cubikfuß Gas hergestellt; die Kosten belaufen sich auf resp. 0,6; 1,2 und 7,2 Pfennige. Gleichzeitig ist man hier unabhängig von jedem Schornstein; nur das Geräth wird hier geheizt, während der Herd selbst stets kalt bleibt, wodurch der bei unseren gewöhnlichen Einrichtungen sehr bedeutende Wärmeverlust vermieden wird. Auf einem anderen Apparat, der in unmittelbarer Nähe des Arbeitenden stehen kann, wird ein 8 bis 10 Pfund schweres Bügeleisen innerhalb 5 Minuten bei einem Verbrauch von 1 Cubikfuß Gas (0,6 Pfg.) auf mehr als 100° R. erhitzt. Aehnliche Apparate sind für den Friseur zum Erwärmen der Brenneisen, für Buchbinder, Vergolder, Galanterie-, Lederarbeiter, Blumenmacher zu Erhitzen der verschiedensten Geräthschaften und des unentbehrlichen Leimtiegels bestimmt. Mit $1\frac{1}{2}$ Cubikfuß Gas, also mit 0,9 Pfg. Kosten, röstet man ein Pfund Kaffee vollständig und gleichmäßig.

Aber auch die größeren Apparate fehlen nicht, so Kochherde für den größten Küchenbedarf und Oefen zum Heizen der Zimmer. Letztere können in jeder beliebigen Größe angefertigt werden, sind beweglich und daher überall anzubringen. Sie entbehren gleichfalls des Schornsteines, aus dem sonst der größte Theil der Wärme abzog. Die Zimmer werden sehr schnell warm, wodurch sich diese Einrichtung besonders für große öffentliche Locale eignet, bei denen eine schnelle, aber

nur kurze Erwärmung gefordert wird. Im Allgemeinen reichen 5 Cubikf. Leuchtgas, innerhalb einer halben Stunde verbrannt, aus, um die Temperatur von 1000 Cubikf. Luft um 10° R. zu erhöhen; $^{1}/_{5}$ der Gasmenge pro Stunde reicht ferner aus, um die erzeugte Temperatur dauernd zu erhalten. Berechnen wir hiernach die Kosten für die Heizung eines Zimmers von 2700 Cubikf. Rauminhalt, so betragen diese für 12 Stunden 26,7 Pfg.

Elsner spricht aus, daß es ihm möglich sei, die größten Räume, wie Kirchen ꝛc. zu erwärmen, sofern sie nur an Fenstern, Thüren und an der Decke gut verschlossen seien. Der Beweis hierfür ist geliefert. Im Winter 1852 wurde die Philippskirche in Berlin — von 90,000 Cubikfuß Rauminhalt — mit Gas geheizt. 700 Cubikf. Gas reichten hin, während des ganzen Gottesdienstes eine Wärme von + 10° R. zu unterhalten. Die Kosten einer jeden Heizung beliefen sich auf wenig über einen Thaler. Der Erfolg war ein so günstiger, daß man beabsichtigte, auch andere Kirchen: den Dom, die Gertrauden-, Jerusalemerkirche ꝛc. auf diese Art zu heizen. Das Vorhaben ist bereits theilweise ausgeführt. Die Erwärmung des Domes während des Winters 1853 — 54 hat den unumstößlichen Beweis geliefert, daß mittelst der Gasheizung Wirkungen erlangt werden, von deren Erreichung man auf andere Art ganz absehen muß. Man kann sagen, hier sei das Unmögliche mit Leichtigkeit möglich gemacht. Der Rauminhalt des Berliner Domes beträgt 560,000 Cubikf. und dazu kamen als weitere ungünstige Bedingungen die große Höhe, der mangelhafte Verschluß und die üble Sitte eines fortwährenden Zu- und Abströmens des Publikums während der Anheizung bis zum Beginn der Predigt. Bei verschlossenen Thüren und leerer Kirche, in welcher die Temperatur — 1° betrug und die äußere — 4°, reichten 40 Minuten und 1500 Cubikfuß Gas hin, um die Temperatur bis auf + 10° zu erhöhen und 750 Cubikf. für die Stunde, um diese Temperatur zu erhalten. Die Kosten lassen sich hiernach leicht berechnen; 1000 Cubikf. Gas werden mit $1^{7}/_{12}$ Thlr. bezahlt. Dieser Erfolg übertraf jede Erwartung. Im nächsten Winter sollen fünf andere Kirchen in Berlin geheizt werden.

Auch für den Fabrikbetrieb sind von Elsner eigene Apparate construirt; so zum Sengen von Zeugen jeder Art, schweren — Kattun, Köper, ganz und halb wollenen, — wie leichten — Gaze, Mull, Petinet — und zum Trocknen dieser Zeuge nach dem Waschen. — Ganz besonders eignet sich die Gasfeuerung für chemische Operationen. In den chemischen Laboratorien Englands ist sie bereits seit längerer Zeit eingebürgert und in den deutschen seit kurzem auch nicht mehr fremd. Wir finden sie auch schon in denen der Apotheken in Berlin und allgemein ist man mit dieser Einrichtung zufrieden.

Elsner's Bemühungen sind bereits mit Erfolg gekrönt worden. Nicht allein, daß in Berlin bereits mehr Gas durch Heiz- und Kochapparate oder zu technischen Zwecken, zum Trocknen, Absengen der Zeuge, Erhitzen der Kalander und Pressen, verbrannt wird, als 8000 Flammen zur Beleuchtung erfordern, sondern der Gebrauch des Gases hat sich bereits überall Bahn gebrochen, wo überhaupt Leuchtgas existirt. Augenblicklich ist Elsner beschäftigt, die Heizeinrichtungen für die Börsenhalle in Königsberg und die Loge in Stettin zu construiren. Er hat auch einen kleinen Apparat zur Bereitung des Gases ersonnen, der sich auch einer günstigen Aufnahme erfreut und diese vortheilhafte Methode auch da möglich macht, wo keine Gasbereitungsanstalten existiren.

Das Leuchtgas hat in neuerer Zeit auch noch andere Verwendungen in der Technik gefunden, die wir jetzt besprechen wollen. Auf den Vorschlag von Macintosh *) verwandelt man Eisen in Stahl dadurch, daß man ersteres in einer Röhre erhitzt und Leuchtgas darüber leitet, wobei das Gas zerlegt wird und das Eisen Kohle aufnimmt. Ein auf diese Art angefertigter Stahl wurde zu Instrumenten verarbeitet, welche die beste Qualität beanspruchen. Dick in Edinburgh bewirkt diese Umwandlung während der Gaserzeugung in den Retorten; doch darf dann kein Schwefel in den Steinkohlen zugegen sein. — Gibbs in Nordamerika verwendet das Leuchtgas als reducirendes Mittel, namentlich bei der Darstellung des reinen Barythhydrates. Sobald nur dies Präparat, der Ausgangspunkt für die übrigen Barytverbindungen, billiger darzustellen ist, wird es für technische Zwecke in großer Menge verlangt werden, namentlich zur Gewinnung des Zuckers aus dem Syrup. Der chlorsaure Baryt liefert ein grünes Feuer von großer Schönheit und wird deshalb auch schon von der Kunstfeuerwerkerei benutzt. Der reine kohlensaure Baryt kam vor einiger Zeit in England bei der Fabrikation vorzüglicher Sorten von Spiegel- und Krystallglas in Gebrauch und der künstlich dargestellte reine schwefelsaure Baryt kann mit der Zeit als glücklicher Rival gegen das schädliche Bleiweiß, zu dessen Verfälschung der in der Natur vorkommende Schwerspath bereits in Menge verwendet wird, auftreten. Uebrigens giebt diese Verwendung des Leuchtgases Fingerzeige für viele andere. Eine mehr untergeordnete ist die zur Füllung der Luftballons. Mit dem Vortheil, daß da, wo man Leuchtgas in großer Menge zur Stelle hat, die Darstellung des Wasserstoffgases zu diesem Zweck fortfällt, muß man freilich den Uebelstand mit in Kauf nehmen, daß das Kohlenwasserstoffgas schwerer ist, als das Wasserstoffgas. Um hier eine gleiche Tragkraft zu erzielen, muß der Ballon von einem bedeutend größeren Umfang sein. Man kann jedoch das Leuchtgas bedeutend leichter erhalten, wenn man es vor der Füllung durch ein glühendes Rohr leitet und dadurch den Kohlenstoff ausscheidet.

Im Eingange haben wir ausgesprochen, daß die Gasbeleuchtung in nicht zu ferner Zeit bedeutende Veränderungen erfahren werde; im Verlaufe haben wir bereits einige Andeutungen gegeben, die wichtigste bleibt jedoch noch zu besprechen. Es ist dies die Anwendung des reinen Wasserstoffgases.

Bevor noch die Aussichten auf die riesige Erweiterung der Leuchtgasbereitung sich eröffneten, kam man bereits auf den Gedanken, daß dereinst die Steinkohlenlager, die in der That bei dem jetzigen Verbrauche nur noch für 500 Jahre Englands Bedürfnisse decken sollen, einmal erschöpft werden könnten. Man sah sich nach einem anderen Brennmaterial um und fiel natürlich auf das Wasser, das ja in unbegrenzten Mengen in der Natur vorkommt und um den billigsten Preis, so zu sagen für Nichts, in jeder beliebigen Quantität, selbst ohne große Mühe, Jedem zu Gebote steht. An eine Erschöpfung ist hier nicht zu denken, denn es erzeugt sich ja bei der Verbrennung wieder. Zudem liefert ja der Wasserstoff die wirksamste Hitze; ein Pfund desselben erwärmt 236 Pfund Wasser von 0° auf 100° C., reine Kohle hingegen nur 78 Pfund. Alle diese Umstände mußten es wünschenswerth machen, das Wasser zu diesem Gebrauche heranzuziehen. Freilich wissen wir, daß der Wasserstoff nicht leuchtet, weil er als einfaches Gas beim Verbrennen keine

---

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. II. S. 333.

festen Bestandtheile ausscheidet und das Verbrennungsproduct gleichfalls kein fester Körper ist; aber diesen Uebelstand vermögen wir zu heben, dadurch, daß wir einen festen Körper in die Flamme hineinbringen. Das Drummond'sche Licht, wo Wasserstoffgas im Sauerstoff verbrennt und die Flamme ein Stück Kalk trifft, ist ja das hellste, welches wir überhaupt hervorzubringen im Stande sind.

Die Frage war nur die, wie ist das Gas darzustellen? Nicht die Bereitung selbst, sondern die Herstellungskosten waren es, welche die Zweifel erregten. Im Allgemeinen hielt man diese für so bedeutend, daß die Einführung dieser Idee ins praktische Leben für unausführbar erklärt wurde. Zudem drängte die Frage noch nicht und so behielt das Denken und Glauben vor der That, dem Versuche den Vorzug. Andere hielten jedoch die Ausführung für möglich; ab und zu tauchten Vorschläge auf, die sich jedoch keine Anerkennung zu verschaffen wußten. Da sollte denn endlich der galvanische Strom auch hier Wunder verrichten und von Amerika kam zu uns vor sehr kurzer Zeit die Nachricht herüber, daß es gelungen sei das große Problem zu lösen. Wie alles Wunderbare von jenseits des großen Oceans bei uns eine überaus günstige Aufnahme findet, so verdrehte auch diese Fabel die Köpfe Vieler. Wir wollen hier nur eine kleine Schrift des Pastor Fleischhauer: „die Naturkräfte im Dienste des Menschen, erste Vorlesung: das Wasser als Brenn- und Leuchtstoff, Langensalza 1852" anführen, die, obgleich sie auf jeder Seite die größte Unkenntniß verrieth, doch zwei Auflagen erlebte.

Nichts desto weniger ist das Problem doch in jüngster Zeit gelöst, wie wir aus einem Bericht, den Ossian Henry der Jüngere 1850 an die Gesellschaft Athene in Paris abstattete *), ersehen. Gillard zu Passy bei Paris hat das Verdienst, zuerst die Zersetzung des Wassers im Großen ausgeführt zu haben. Er bewerkstelligt es dadurch, daß er Wasserdampf über glühende Kohlen leitet; von der hierbei mit entstehenden Kohlensäure wird das Gas mittelst Kalk befreit. Leuchtend macht Gillard die Flamme des Wasserstoffgases durch eine sehr sinnreiche Vorrichtung. In dem Zugglase ist ein Netz von feinem Platindraht angebracht, das vollkommen, indem es durch die Flamme weißglühend wird, die feinen, beim Verbrennen des Leuchtgases sich ausscheidenden Kohlentheilchen ersetzt. Das Licht ist außerordentlich lebhaft und constant. Wichtiger noch als die Beleuchtung ist die Verwendung des Wasserstoffgases als Brennmaterial. Versuche, die in dieser Art angestellt worden, fielen befriedigend aus, so daß das neue Beleuchtungs- und Heizungs-Verfahren in der großartigen Bijouteriefabrik von Christopfle in Paris bereits zur Ausführung gekommen ist. Silliman jun. hatte Gelegenheit diese Einrichtung kennen zu lernen und ertheilt ihr großes Lob **). In England ist man freilich anderer Meinung; man will sich hier auf Versuche stützen, die gerade nicht günstig sprechen. Es ist jedoch kein Zweifel, daß die neue Methode mit Erfolg gekrönt werden und einst die Wichtigkeit, zu der sie berufen ist, erlangen wird.

Die Litterary Gazette vom 23. Juli 1853 kündete wieder als „erstaunliche Entdeckung" die Verwandlung des Wassers in ein nicht explodirendes Leuchtgas durch elektromagnetische Zersetzung an. Es hat sich sogleich auch eine Compagnie

*) Journ. de Pharm. et de Chim. T. XVII.
**) Phil. Mag. 4. Ser. Vol. III. p. 152.

zu deren Ausbeutung gebildet; für England nichts Auffallendes mehr. Im Cosmos vom 9. December 1853 berichtet Moigno, der den Versuchen beiwohnte, hierüber Folgendes: „Der zersetzende Apparat ist eine magneto-elektrische Rotationsmaschine mit sieben Inductionsspiralen; dem Wasser ist eine Substanz beigemischt, welche den sich bei der Zersetzung entwickelnden Sauerstoff größtentheils bindet. Das Wasserstoffgas leitet man durch einen flüssigen Kohlenwasserstoff und verwandelt es so in Leuchtgas. Die Kraft eines Mannes reichte hin, um in einer bestimmten Zeit soviel Gas zu erzeugen, als für denselben Zeitraum sieben gewöhnliche Brenner erfordern.“ Bis zur Ausführung im Großen aber ist noch ein langer und mühseliger Weg zurückzulegen. — Auch Smee spricht in seiner Electro-Metallurgie von der Darstellung des Wassers durch den galvanischen Strom. Die Zersetzung des Wassers durch die Batterie hält er für zu kostspielig. Wäre es möglich den Bau der Rotationsmaschinen so zu vervollkommnen, daß man dadurch das Wasser rasch und in großen Mengen zersetzen könnte, so wäre dieselbe in der That, wie Smee meint, eine der wichtigsten Maschinen neuerer Erfindung.

Mögen sich jetzt auch noch Hindernisse mancherlei Art geltend machen, so viel steht doch fest, daß die Darstellung des Wasserstoffgases dermaleinst eine eben solche Rolle, und noch eine bedeutendere spielen wird, wie jetzt die Leuchtgasbereitung aus Steinkohlen. W. Baer.

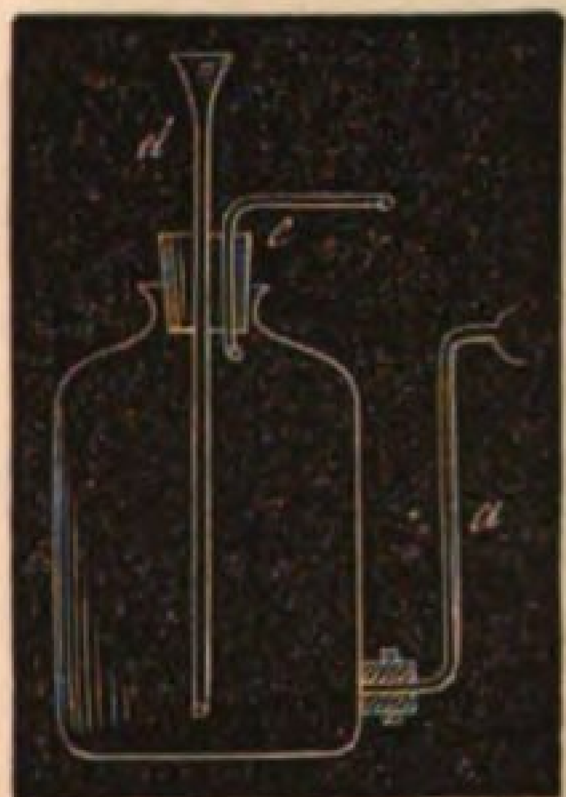
Gasmesser, s. Gasbeleuchtung.

Gasometer. Die Apparate, welche wir hier zu beschreiben haben, gehören der neuesten Zeit an, denn eben das genauere Studium der verschiedenen Gasarten ist ja mit einer der Hauptunterschiede der heutigen Chemie von der früheren. Erst van Helmont unterschied gegen die Mitte des 17. Jahrhunderts die Gase von der Luft. Er operirte viel mit ihnen, Vorrichtungen aber, um sie aufzufangen, ersann er nicht, vielmehr erklärte er, daß man die Gase in keinem Gefäße ansammeln könne, indem sie ein jedes Hinderniß aus dem Wege räumten, das ihrer Vereinigung mit der umgebenden Luft entgegenstände. Boyle sammelte zuerst Gas in einem abgeschlossenen Raum an, jedoch in demselben Gefäß, in welchem er es entwickelte, während Wren, einer der gelehrtesten und berühmtesten Architecten seiner Zeit und Professor der Astronomie zu London und später zu Orford, schon einen Schritt weiter ging und das Auffangen des Gases von der Entwickelung trennte. Zwanzig Jahre nach dem Tode van Helmont's wandte er zu diesem Zwecke eine thierische Blase an. Hales folgte ihm und Black näherte sich 1775 in seinen Anordnungen schon mehr dem jetzt gebräuchlichen Verfahren. Am eifrigsten beschäftigte sich Priestley mit dem Studium der Gase und sein Hauptverdienst besteht eben in der Angabe des pneumatischen Apparates, der, so wie überhaupt alle von Priestley auf diesem Gebiete angegebenen Manipulationen, im Wesentlichen noch heute im Gebrauche sind. Zum Auffangen der Gase bediente er sich gläserner Röhren, die an einem Ende verschlossen, Cylinder, Glocken, Flaschen, die mit Wasser, oder wenn dieses das Gas in sich aufnahm, mit Quecksilber gefüllt und in Wasser oder Quecksilber umgestürzt und dadurch abgesperrt wurden.

Lavoisier, der überhaupt zuerst Maß und Gewicht in die Chemie einführte und so den Grund zur gänzlichen Umgestaltung und den reißenden Fort-

schritten unserer Wissenschaft legte, war auch der Erste, welcher mit Meusnier einen genauen Gasmesser construirte. Nach seiner Art wandte er zur quantitativen Bestimmung der Gase nicht das Maß, sondern die Waage an. Der Zweck, zu welchem dieser Apparat hauptsächlich diente, — um durch Verbrennen von Wasserstoff und Sauerstoff Wasser zu erzeugen, — machte ihn complicirt und umfangreich, denn damals hatte man noch nicht gelernt mit Wenigem hauszuhalten. Der Apparat kostete 1800 Livres, Aufforderung genug an die Chemiker, auf Vereinfachung zu denken. Solche wurden auch vielfach angegeben von Hauch, van Marum, Cuthbertson, Seguin; alle diese verschiedenen Constructionen dienten zu demselben Zwecke, der Darstellung von Wasser, so daß zu jener Zeit allgemein mit dem Namen Gasometer ein Apparat belegt wurde, der dazu bestimmt war, das Verbrennen von Wasserstoff und Sauerstoff bequem zu verrichten und das erzeugte Wasser gehörig zu sammeln und zu wägen *). Da zu diesem Versuche die Gase in einem bestimmten Verhältniß angewendet werden mußten, so war der Apparat auch ein Gasmesser im wahren Sinne des Wortes. Auf eine nähere Beschreibung gehen wir hier nicht ein, da heute dergleichen Apparate nicht mehr im Gebrauche sind. Kommt es jetzt darauf an, Gase zu messen, so reicht man mit den einfachsten Instrumenten aus: Glocken, Cylindern oder an einem Ende verschlossenen Glasröhren, an denen der Rauminhalt nach bestimmten Maßeinheiten (Cubikzollen und Linien oder Centimetern) vermerkt ist; sie heißen daher graduirt oder calibrirt.

Mohr hat **) einen kleinen einfachen Apparat angegeben, der gleichzeitig als Gasbehälter und Gasmesser dient und zu vielen Zwecken sehr gut gebraucht werden kann. In eine Glasflasche wird nahe am Boden ein Loch gebohrt und dieses durch einen Kork verschlossen, der eine an beiden Enden offene Glasröhre a enthält. Diese Röhre geht mit etwas Fett in dem Korke und ihr oberes Ausflußende läßt sich im Kreise leicht hoch und niedrig stellen.



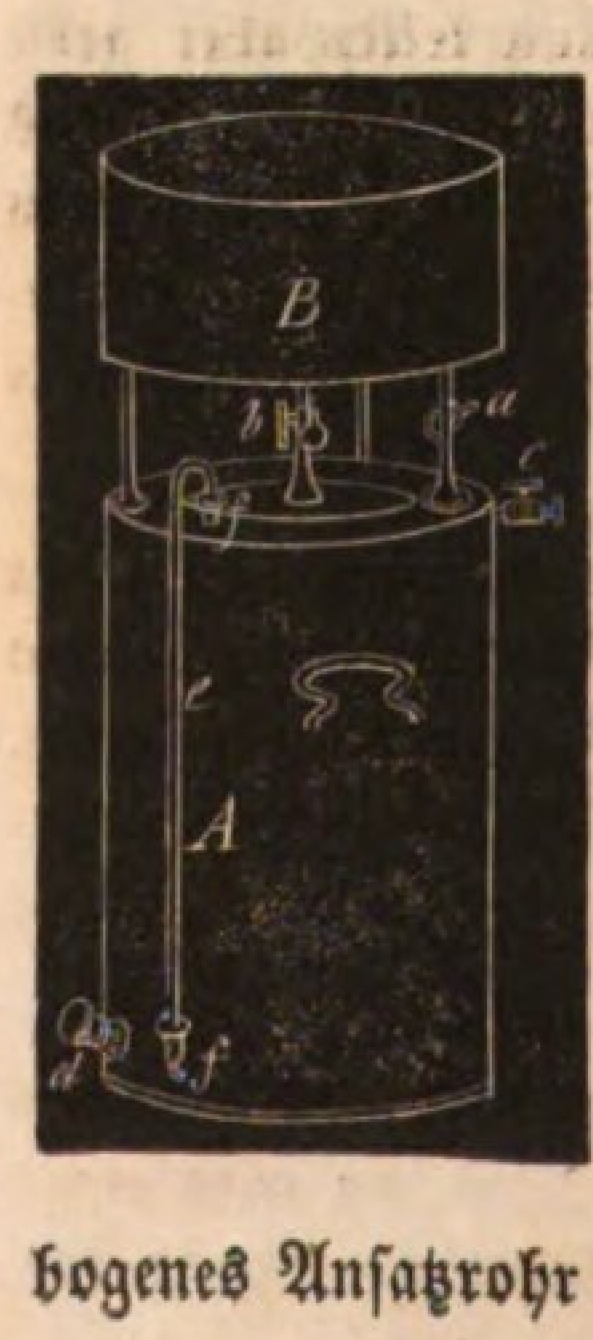
Die Röhre muß sich zwar im Korke drehen, aber nicht der Kork in der Röhre. In ihrem geraden Theile ist die Röhre so lang, wie die Flasche hoch. Der Hals ist mit einem doppelt durchbohrten Kork für die Wasser- und Gasleitungsröhren d und e dicht verschlossen. Soll der Apparat gebraucht werden, so füllt man ihn durch d mit Wasser, wobei die Luft aus e entweicht, bis das Wasser aus der senkrecht stehenden Röhre a ausfließt. Nun wird der Apparat, aus dem das Gas entwickelt werden soll, bei e angebunden und das Ganze auf luftdichten Schluß geprüft. Man drückt zu diesem Ende die Ausflußröhre bis auf die Hälfte der Höhe der Flasche hinab, wobei etwas Wasser ausfließt und zwar sowohl durch Ausdehnung der im Entwickelungsapparate enthaltenen Luft als auch weil das Wasser in der Röhre d immer die Höhe der Ausflußmündung a annimmt, da beide denselben atmosphärischen Druck haben. Schließt der Apparat luftdicht, so hört das Ausfließen des Wassers plötzlich auf; ist aber die geringste Undichte vorhanden, so tröpfelt das Wasser fortwährend aus.

*) Fischer's physikalisches Wörterbuch. 1799. Bd. II. S. 686.
**) Poggend. Ann. Bd. LIX. S. 139.

Das während der Gasentwickelung aus a ausfließende Wasser wird sorgfältig aufgefangen. Von Zeit zu Zeit drückt man die Röhre etwas tiefer, so daß die innere Spannung ziemlich nahe gleich der äußeren gehalten wird. Hoher Druck kann nicht entstehen und Einschlürfen der Luft von außen ist unmöglich. Entsteht durch Abkühlung nach der Entwickelung in dem Apparate ein verminderter Druck, so gießt man von dem ausgeflossenen Wasser etwas in die Röhre d zurück, bis nach Ausgleichung der Temperatur, die Höhen der Wasserstände in d und der Flasche und die Ausflußöffnung von a genau in einer Höhe liegen. Das ausgeflossene Wasser giebt genau das Volumen des entwickelten Gases an, nach den gehörigen Correctionen der Wärme, Feuchtigkeit und des Barometers, wenn man die kleine Menge davon abgezogen hat, die aus der Röhre d herrührt.

Die Empfindlichkeit und Genauigkeit des Apparates ist ungemein groß. Enthält die Flasche Luft und ist die Röhre a randvoll, so braucht man nur mit einem Finger die Flasche zu berühren und sogleich fließen einige Tropfen Wasser aus. Als Flüssigkeit ist hier eben so gut Quecksilber anzuwenden; eben so wenn das Gas durch Wasser zu stark absorbirt wird, concentrirte Lösungen von Chlorcalcium, Chlornatrium, Chlorzink, schwefelsaurer Bittererde und Zinkoxyd. Ermittelt man ihr specifisches Gewicht und dividirt man dadurch die ausgeflossene Menge der Flüssigkeit, so erhält man das Gewicht der Gramme Wasser oder der Cubikcentimeter in Volumen. Bringt man bei e einen Hahn an, so hat man einen zu allen Versuchen brauchbaren Gasbehälter, zu dem jede Flasche dienen kann; der viel wohlfeiler und luftdichter ist, als ein metallener. Drückt man die Röhre a ganz hinab, indem man d vorher verstopft hat, so hat man einen Aspirator nach Brunner's Methode. Das durchgesaugte Gasvolumen mißt sich im ausgeflossenen Wasser, nachdem man vorher durch Heben der Röhre a das Ausfließen gehemmt hat. Und auch als solcher ist dieser einfache Apparat zu vielen Zwecken zu gebrauchen.

Heute entsprechen im Allgemeinen die Apparate dem Namen, welchen sie führen, nicht mehr; es sind keine Gasmesser, oder nur in so fern, als man aus dem Gefäß auch leicht den Inhalt an Gas berechnen kann. Sie dienen nur dazu, um größere Mengen von Gasen aufzubewahren und bei gewissen Operationen einen anhaltenden und constanten Gasstrom zu liefern. Der gebräuchlichste Apparat ist der von Pepys 1802 construirte. Der Apparat ist in der Regel aus Kupfer- oder Weißblech verfertigt und besteht aus dem eigentlichen Gas- A und einem Wasserbehälter B, zwei cylindrischen Gefäßen, von denen das erstere ganz geschlossen, das zweite, bedeutend kleinere oben offen ist. Letzteres ist auf dem ersteren mittelst Stützen befestigt, von denen zwei als Röhren dienen a und b, um eine Communication zwischen beiden Gefäßen herzustellen, die durch die angebrachten Hähne beliebig geöffnet oder verschlossen werden kann. Die Röhre bei a reicht fast bis auf den unteren Boden des Gasbehälters, die bei b ragt durchaus nicht in A hinein. Dicht über dem unteren Boden von A finden wir ein kurzes, nach oben gebogenes Ansatzrohr d, das durch eine Schraube luftdicht verschlossen werden kann



und oben ein anderes mit Hahn und Schraube versehenes c; e ist ein starkes Glasrohr, ein sogenannter Index oder Anzeiger, das mittelst durchbohrter Korke und darüber fassender Schrauben luftdicht in die Ansätze f f befestigt oder eingekittet ist, die mit dem Innern des Gefäßes communiciren. An den Seiten des Gasbehälters sind zwei Handhaben angebracht, um ihn leichter transportiren zu können. In der Regel hat der untere Cylinder eine Höhe von 16 und einen Durchmesser von 11 Zoll; er faßt dann 1200 Cubikzoll Gas. Soll nun der Apparat gefüllt werden, so öffnet man die Hähne bei a, b und c und gießt so lange Wasser in B, bis es zur Oeffnung c hinausläuft. Hierauf schließt man den Hahn und läßt die noch in A befindliche Luft durch b austreten. Um den Behälter ganz luftfrei zu machen, darf b nicht im mindesten in A hineinragen und um das Entweichen der letzten Antheile der Luft zu erleichtern, ist der obere Boden von A etwas gewölbt. Ist alle Luft entwichen, so schließt man die Hähne bei a und b und nun ist der Apparat zur Aufnahme des Gases vorbereitet. Will man eine Füllung bewerkstelligen, so entfernt man die Schraube bei d; schließen alle Hähne gut, so darf kein Wasser ausfließen, weil die Luft nicht in den Behälter eindringen kann. In die Oeffnung bei d führt man das Gasleitungsrohr des Entwickelungsapparates hinein und in dem Maße als die Gasblasen durch das Wasser in dem Cylinder aufsteigen, fließt bei d das Wasser aus. Man hat hierbei darauf zu achten, daß die untere Oeffnung bei d stets unter Wasser bleibt. Nach dem Füllen ist die Schraube wieder zu befestigen.

Je nach dem Zweck wird beim Gebrauch das Gas aus b oder c entfernt. Will man es in andere Gefäße übertragen, so füllt man diese mit Wasser und stellt sie mit der Mündung über die Oeffnung bei b in dem oberen mit Wasser gefüllten Gefäß B. Oeffnet man nun die Hähne bei a und b, so dringt durch a das Wasser in den Gasbehälter ein und verdrängt daraus das Gas, welches durch b in das umgestürzte Gefäß tritt. Sind diese voll, so schließt man die Hähne bei a und b und entfernt das gefüllte Gefäß mittelst einer untergeschobenen flachen Schale, in der es durch Wasser abgesperrt wird. Mittelst der pneumatischen Wanne und eines Glasrohres kann man diese Füllungen, freilich umständlicher, auch durch c besorgen. Hier läßt man sonst das Gas durch ein langes, spitzig zulaufendes, angeschrobenes Ansatzrohr ausströmen, wenn man es in eine Flamme leiten oder selbst anzünden, oder wenn man Blasen ꝛc. damit füllen will. Um den Druck auf das Gas zu vermehren und dadurch ein rascheres Ausströmen zu erzielen, kann man bei a noch beliebig lange Röhren anschrauben, die oben in einen Trichter enden. Durch das Rohr e wird man unterrichtet, wie viel Gas noch in dem Apparat vorhanden ist.

Früher waren verschiedene andere Apparate dieser Art im Gebrauch, die mehr oder weniger den Gasometern, wie wir sie bei der Gasbeleuchtung kennen gelernt haben, dem Principe nach ähnlich waren bei bedeutend kleineren Dimensionen. Heute sind sie nicht mehr in Anwendung; die bequeme Handhabung des oben beschriebenen hat sie alle verdrängt und somit sind wir einer eingehenden Darstellung überhoben.

In neuerer Zeit haben Gasometer aus Glas ihrer größeren Eleganz wegen große Verbreitung gefunden. Man bedient sich ihrer besonders da, wo man einen beständigen Gasstrom, wie z. B. bei der organischen Elementaranalyse nöthig hat.

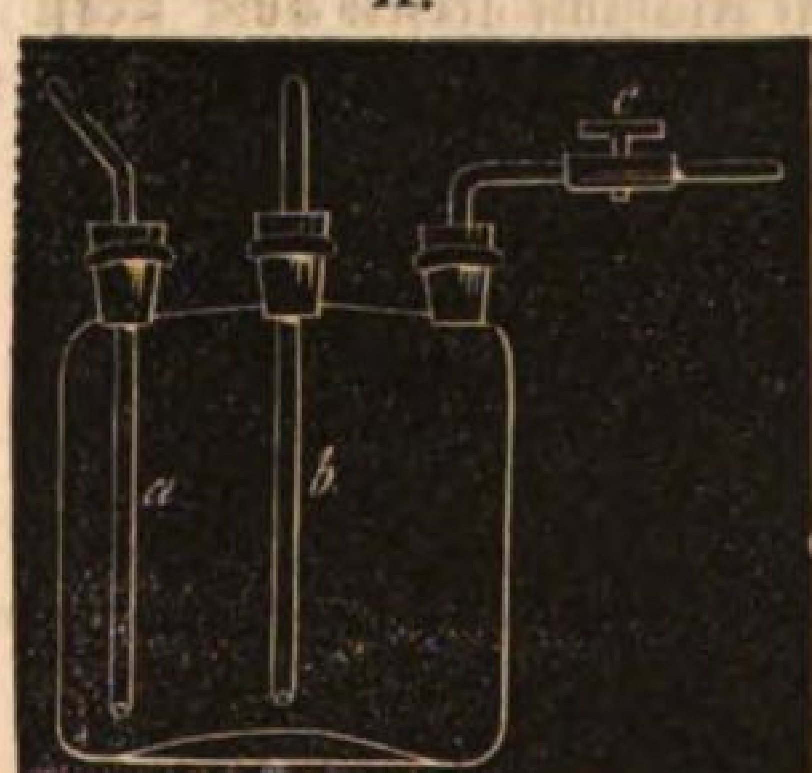
Zu dieſem Zwecke conſtruirte zuerſt Heß *) einen ſolchen Apparat, der 2—3000 Cubikcentim. faßt. Im Laufe der Zeit iſt die Einrichtung vereinfacht worden; wir ſtellen ſie in Fig. I. dar. Die Abbildung bedarf keiner weiteren Beſchreibung; der Gebrauch des Apparates iſt ſehr leicht zu verſtehen. Eckling in Wien verfertigt jetzt auch Gaſometer von Glas, die in ihrer Conſtruction ganz mit dem beſchriebenen Apparate von Pepys übereinſtimmen.

Von Deville iſt jüngſt ein ſehr einfacher Apparat angegeben **), der ſich beſonders dazu eignet, Luft oder eine andere Gasart über eine Subſtanz zu leiten und bei welchem die Art, ihn mit Gas zu füllen, geſtattet, daß man dieſe Operation während des Gebrauchs des vorhandenen Gaſes vornehmen kann. Rammelsberg ***) hat die Einrichtung vereinfacht, wie durch Fig. II. dargeſtellt wird. Statt der dreihalſigen Flaſche kann auch eine gewöhnliche mit weiter Oeffnung dienen, wo dann der Kork dreifach durchbohrt wird. Will man die Flaſche mit Waſſer füllen, ſo ſchiebt man auf b einen Kork, mittelſt deſſen man eine Glocke umgekehrt darauf befeſtigt. Dieſe füllt man mit Waſſer und öffnet den Hahn c. Soll die Flaſche mit Gas gefüllt werden, ſo entfernt man die Glocke und befeſtigt bei b mittelſt Kautſchuck ein zweiſchenkliges Rohr, deſſen Schenkel, damit es nicht als Heber wirke, die Oberfläche der Flüſſigkeit in der Flaſche jedoch nicht erreichen darf. a bringt man mit dem Gasentwickelungsapparat in Verbindung, und das Waſſer fließt nun bei b ab. Soll das Gas ausſtrömen, ſo bringt man bei b wieder die Glocke an, füllt dieſe mit Waſſer, öffnet den Hahn und verſchließt die Oeffnung bei a mit einem Kork. Wenn die mit Waſſer gefüllte Flaſche atmoſphäriſche Luft aufnehmen ſoll, ſo öffnet man den Hahn und bringt bei a einen Heber an.

I.



II.

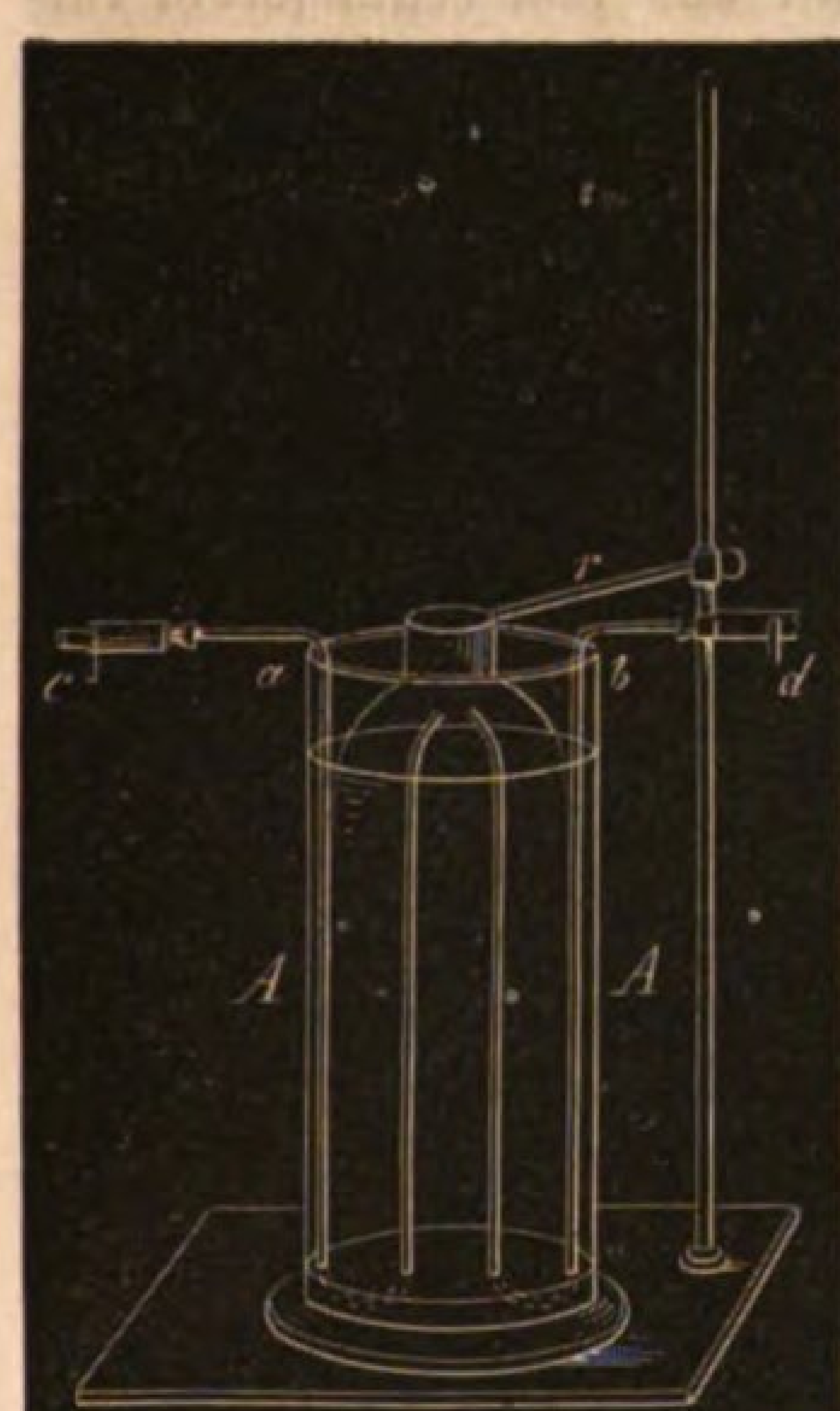


In vielen Fällen kann man die Gaſometer entbehren und das Gas in gewöhnlichen enghalſigen Flaſchen aufbewahren. Beim Füllen ſieht man darauf, daß noch einige Zoll hoch Waſſer in der Flaſche bleibe; man verkorkt ſie unter Waſſer und bewahrt ſie umgekehrt, den Hals unter Waſſer getaucht, auf. Ueberzieht man den Kork mit Lack, ſo iſt ein ſicherer Verſchluß ſelbſt für Jahre erzielt. Will man, ohne ein Gaſometer anzuwenden, einen conſtanten Gasſtrom erzielen, ſo bedient man ſich dazu einer Glocke, die oben mit einer Oeffnung (Tubulus) verſehen iſt. Zur Aufnahme des Gaſes

*) Journ. für prakt. Chem. Bd. XVII. S. 99.
**) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. I. p. 59.
***) Poggend. Ann. Bd. LVIII. S. 169.

dient eine Blase mit einem Hahnstück, durch welches die Verbindung mit der Glocke hergestellt wird. Bei geöffnetem Hahn macht man die Blase sehr leicht luftfrei, indem man sie zusammendrückt; man schließt dann den Hahn und befestigt die Blase an der Glocke, füllt diese mit Wasser, stellt sie auf die Brücke der Wanne, läßt das Gas in die Glocke und durch den geöffneten Hahn in die Blase treten, indem man die Glocke in das Wasser der Wanne senkt. Soll das Gas aus der Blase ausströmen, so steckt man eine Röhre mit feiner Oeffnung auf das Hahnstück und drückt die Blase mit den Händen zusammen. Man kann auch die Blase direct mit dem Gasentwickelungsapparate in Verbindung bringen. — Statt der Blasen von nur geringem Umfange bedient man sich in neuerer Zeit mit Erfolg großer leinener Säcke, die durch Ueberziehen mit Kautschuck luftdicht gemacht sind. Sollen sie luftfrei gemacht oder das Gas aus ihnen entfernt werden, so beschwert man den Sack mit Gewichten.

Bei den angegebenen Apparaten dient als Sperrflüssigkeit Wasser oder in einigen besonderen Fällen, wo das Gas in zu großem Maße von dem Wasser verschluckt wird, gewisse Salzlösungen. In wenigen Fällen muß jedoch Quecksilber angewendet werden, entweder weil das Gas von anderen Flüssigkeiten massenhaft verschluckt oder gar zersetzt wird. Da solche Versuche immer nur in einem kleinen Maßstabe vorgenommen werden, so reicht man vollständig mit Cylindern und Glocken aus. In diesen kann auch bei Quecksilberverschluß das Gas längere Zeit aufbewahrt werden. Früher hatte man zu diesem Zwecke eine Menge von Apparaten construirt, so Pepys, Newman, Clayfield, Döbereiner. Sie dienten besonders bei Untersuchungen der Gase und waren daher auch Gasmesser im eigentlichen Sinne des Wortes. Jetzt aber sind sie nicht mehr im Gebrauch oder man kann sie wenigstens sehr gut entbehren.



Bei chemischen Untersuchungen jedoch kommt man mitunter in die Lage, kleine Gasmengen auffangen und längere Zeit aufbewahren zu müssen. Da hier eine absolute Reinheit verlangt wird, muß die Möglichkeit eines Austausches des Gases gegen atmosphärische Luft durch das Sperrungsmittel hindurch verhindert werden. Zu diesem Zweck hat Bunsen einen einfachen Apparat construirt, den beistehende Figur darstellt. Auf dem Boden des Glascylinders A A sind zwei Uförmig gebogene Glasröhren in einer geschmolzenen Siegellackschicht so befestigt, daß die beiden rechtwinklig nach außen gebogenen Theile sich dicht an die Glaswand anlegen und mit den beiden andern in der Mitte aufrecht stehenden Schenkeln in einer Ebene liegen. Ueber die beiden letzteren stürzt man eine Glasglocke, deren unteres offenes Ende auf der Siegellackschicht ruht, während der obere geschlossene Theil bis dicht über die Mündungen der davon umschlossenen Gasleitungsröhren reicht. Beim Füllen des Apparates mit Quecksilber hat man dafür

zu sorgen, daß an der Innenwand der Glocke keine Luftbläschen haften bleiben, die später das aufzufangende Gas verunreinigen würden. Am besten vermeidet man es dadurch, daß man das Quecksilber durch einen mit langem engen Halse versehenen Trichter, der bis auf den Boden des Cylinders hinabreicht, eingießt. Das Quecksilber fließt so beständig von unten zu und legt sich dicht an die Wand an. Hat man den Cylinder bis zu $^3/_4$ gefüllt, so senkt man die Glocke langsam in das Quecksilber ein; die Luft entweicht dabei durch die offenen Enden der Röhren a und b. Der Arm r dient dazu, die Glocke in ihrer Stellung festzuhalten. Nun füllt man von außen das noch fehlende Quecksilber vorsichtig nach, bis etwa $^1/_2$ Zoll unter die Mündungen der inneren Röhren.

Statt der Hähne hat Bunsen eben so große Sicherheit gewährende Kautschuckventile c und d angebracht. Es sind dies Röhren, in deren Mitte ein kurzer, beweglicher, massiver Glasstab eingelegt wird, über welchem sich die Röhre beliebig zusammenschnüren läßt, so daß also auf einfache Weise die Communication unterbrochen oder wieder hergestellt werden kann. Soll die Füllung vor sich gehen, so bringt man a durch c mit dem Entwickelungsapparat in Verbindung, läßt aber d so lange offen, bis man mit Sicherheit annehmen kann, daß alle im Apparate anfangs vorhandene Luft durch den Gasstrom ausgetrieben worden ist. Dann erst schließt man d und nun sammelt sich das Gas in der Glocke an, die durch allmäliges Hinaufschieben des sie niederhaltenden Armes r gehoben wird und zwar in dem Maße, wie sie sich mit Gas füllt. Man füllt sie indeß nicht ganz und unterbindet dann das Ventil bei c, so daß jede Communication abgesperrt ist. Bringt man nun bei d ein Gasleitungsrohr an, so kann man, indem man die Glocke langsam niederdrückt, daraus eine beliebige Menge Gas in andere Gefäße überführen; man hat hier aber darauf zu achten, daß man erst die Luft aus dem Leitungsrohr entfernen, also den ersten Theil des Gases frei in die Luft ausströmen lassen muß.

Aus den angegebenen Gründen kann man in einigen Fällen selbst nicht das Quecksilber als Sperrungsflüssigkeit anwenden; oder es handelt sich auch darum, größere Gasmengen ganz trocken anzuwenden. In diesen Fällen muß man die Luft aus den Gefäßen durch einen raschen Gasstrom selbst fortschaffen. Bei schweren Gasen, wie Chlor, Kohlensäure ꝛc., leitet man diese in die aufrecht stehenden Flaschen bis auf den Boden, bei den leichten kehrt man die Mündung der Flaschen nach unten. In dem Maße, wie sich das Gas vom Boden aus verbreitet, wird die Luft verdrängt und fließt aus der Mündung ab. W. Baer.

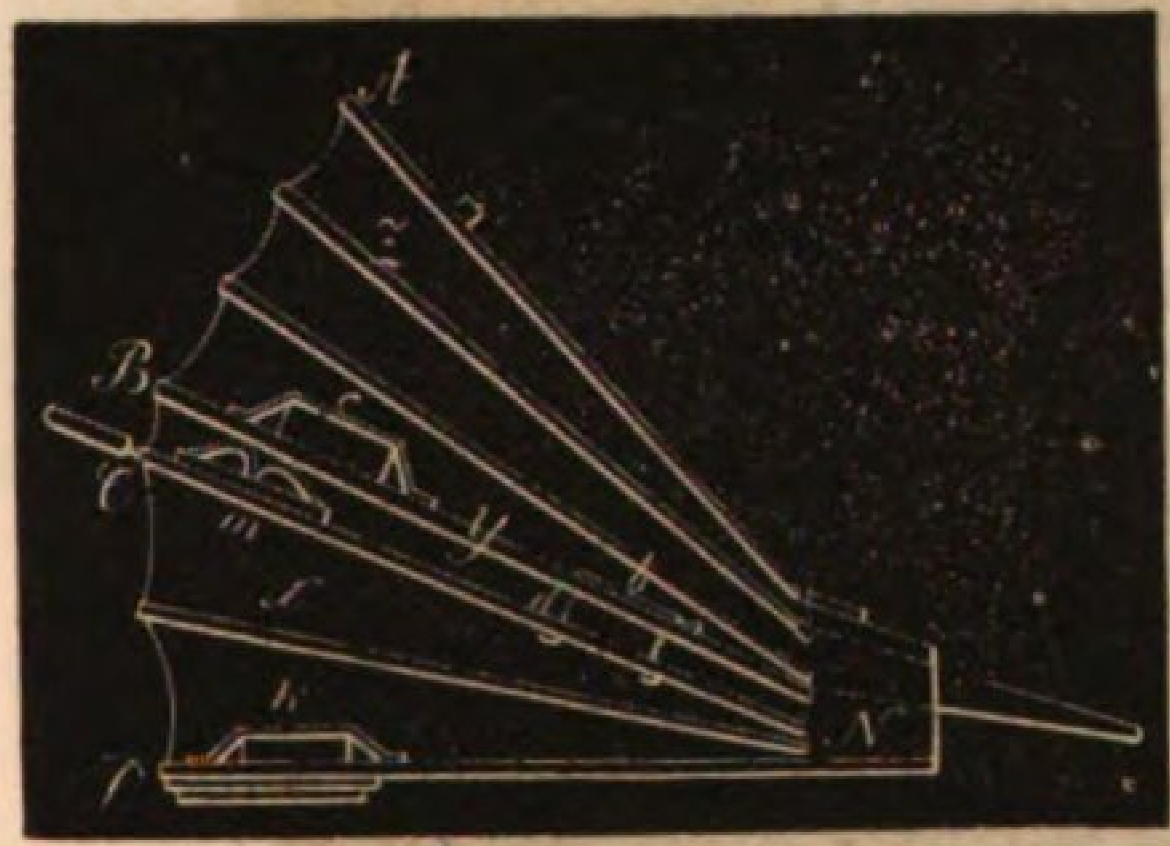
Gebirgsarten, s. Berg.

Gebläse (französ. soufflets; engl. bellows) sind Vorrichtungen, vermittelst deren atmosphärische Luft oder andere Gase gesammelt, comprimirt und durch Leitungsröhren dem Raume zugeführt werden, wo die Verbrennung befördert und dadurch die Hitze gesteigert werden soll. Dieser Raum hat eine oder mehrere Oeffnungen, sogenannte Formen, durch welche die verdichtete Luft aus den Gebläsen mittelst einer Röhre, der Düse oder Deupe, eingeblasen wird. Auch bringt man wohl mehrere Gebläse zweckmäßig mit einem gemeinschaftlichen Windbehälter in Verbindung, aus dem dann die Luft durch eine einzige Düse in den betreffenden Raum geleitet wird.

Man unterscheidet die trocknen Gebläse von den hydraulischen, bei welchen letzteren das Gas unter dem Druck einer Flüssigkeitssäule steht.

A. Trockne Gebläse.

1) Das einfachste und wohl auch das älteste Gebläse ist ein häutiger Sack oder Balg, der mit Luft angefüllt und zusammengedrückt wird, wie ein Dudelsack. An dasselbe reiht sich der gewöhnliche **lederne Blasebalg**, der bekanntlich aus zwei hölzernen Wänden besteht, welche durch Leder in der Form einer Pyramide, eines Keils, Prisma's oder Cylinders luftdicht mit einander verbunden sind. Bei Annäherung der Wände an einander wird die innere Luft comprimirt und dadurch nach Außen getrieben, während durch Entfernung der Wände von einander ein luftverdünnter Raum entsteht, in welchen die äußere Luft durch ein passend angebrachtes Ventil einströmt. Da dieser Blasebalg einen unterbrochenen Luftstrom liefert, so wendet man bei Schmiedefeuern einen doppelten oder dreifachen an, wie etwa folgenden in Figur I. abgebildeten.



Von den drei Abtheilungen dieses Balges dienen die beiden unteren x und y zum Einnehmen und Verdichten der atmosphärischen Luft und die obere z als Regulator. Die Ventile k für die untere und m für die mittlere Abtheilung, sind die Lufteinlaßventile. Aus der Abtheilung x wird die atmosphärische Luft durch das Ventil b in den Regulator z gebracht, und dieses Ventil steht mit einem ledernen Schlauche d in Verbindung, welcher durch die mittlere Abtheilung y hindurchgeführt ist. Die in die Abtheilung y geschöpfte und verdichtete Luft gelangt durch die Ventile c in den Regulator z. Die Ebenen oder die **Scheider** D und B sind unbeweglich, C und A aber beweglich. Die Ebene A bildet den Deckel für den Regulator und wird daher mit Gewichten beschwert. Alle diese **Scheider** sind in dem Balgkopfe N eingefügt, dessen Düse nur mit dem Raum z in Verbindung steht.

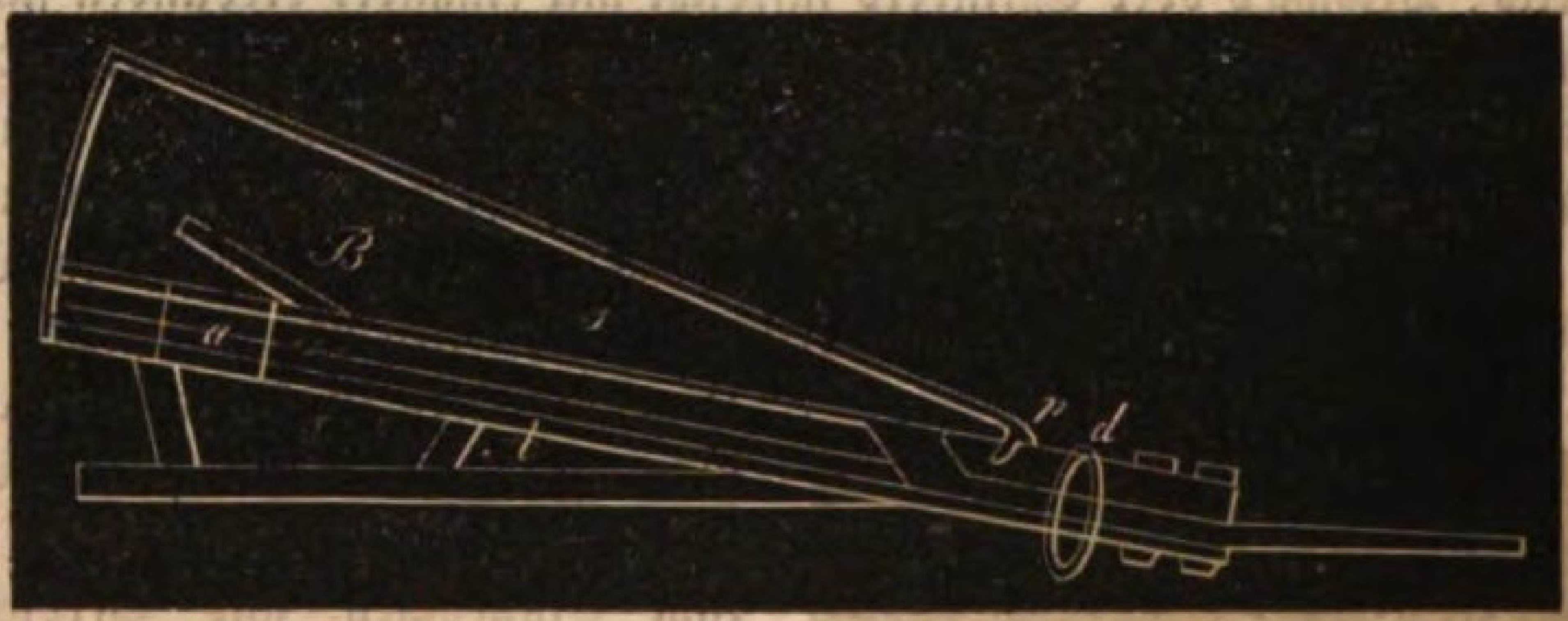
Der Mechanismus des Ganzen, der Gang der Luft und das Spiel der Ventile ist aus der Zeichnung leicht zu ersehen.

2) **Die hölzernen Balggebläse.** Dieselben wurden zuerst 1620 am Harz angewendet, und bestehen hauptsächlich aus zwei Theilen, aus dem Ober- und aus dem Unterkasten.

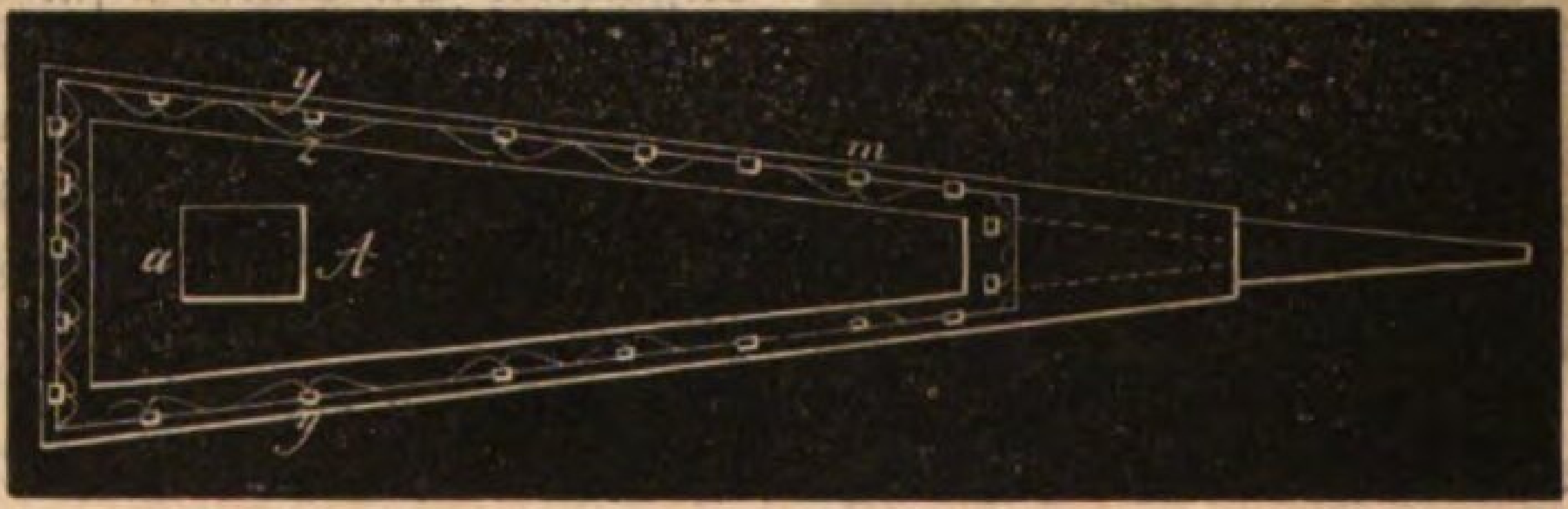
Umstehende Figur I. zeigt den Längendurchschnitt eines solchen Balgs und Figur II. einen Grundriß des Unterkastens. Die hintere Fläche des Oberkastens muß gekrümmt sein und zwar ist der Mittelpunkt dieser Krümmung der Drehungspunkt. Die äußere Luft tritt durch ein im Unterkasten befindliches Ventil a ein. Die beiden Seitenwände des Oberkastens sind mit flügelartigen Verlängerungen, den sogenannten **Backenstücken** versehen, durch welche und den Balgkopf eine geschmiedete Walze d geht, so daß in Folge dieser Vorrichtung (**das Schloß**) der Oberkasten sich frei um den Unterkasten bewegen kann. Die vordere Fläche des Oberkastens besteht aus einem sehr niedrigen Brette, dem **Stirnbrette** p, welches sich in einem Pfalze oder in einer Nuth, die in den Balgkopf eingelassen ist, bewegt. Die Verbindung des Unterkastens mit dem Oberkasten geschieht durch sehr glatte hölzerne Leisten m (Fig. II.), welche durch die Haken oder Kröpfe y

festgehalten und durch die Federn z, welche an dem Unterkasten befestigt sind, gegen die Wände des Oberkastens gedrückt werden. Da der Balg nur beim Niedergehen Luft auspreßt, so müssen wenigstens zwei Bälge vorhanden sein, die abwechselnd ihre Bewegung machen.

I.



II.



Der Balg steht fest und unverrückbar auf dem Balggerüst A (Fig. I.), mit welchem der Unterkasten unmittelbar verbunden ist.

Die Bälge, bei welchen der Unterkasten in den Oberkasten gedrückt wird, sind die in Schweden gebrauchten, sogenannten Windholmgebläse *). Sie erfordern zwar eine geringere bewegende Kraft und haben eine größere Wirksamkeit, aber die Beträchtlichkeit der Anlage- und Reparaturkosten, wird stets einer allgemeinern Anwendung derselben entgegenstehen.

3) Die hölzernen Kastengebläse bestehen meist aus Holz, und der Unterkasten (Kolben genannt) wird, ohne sonst mit dem Oberkasten verbunden zu sein, in diesen auf allen Seiten ganz gleichförmig hineingeschoben. Diese Gebläse haben bei starker Pressung der Luft den Nachtheil, daß der Wind zwischen der Kolbenliederung und den Wänden des Gefäßes, durch die Fugen und sogar auch durch die Fasern des Holzes entweicht. Bei stark gepreßtem Wind sind daher eiserne Gebläse vortheilhafter anzuwenden.

4) Die eisernen Cylindergebläse **). In einem wohl ausge-

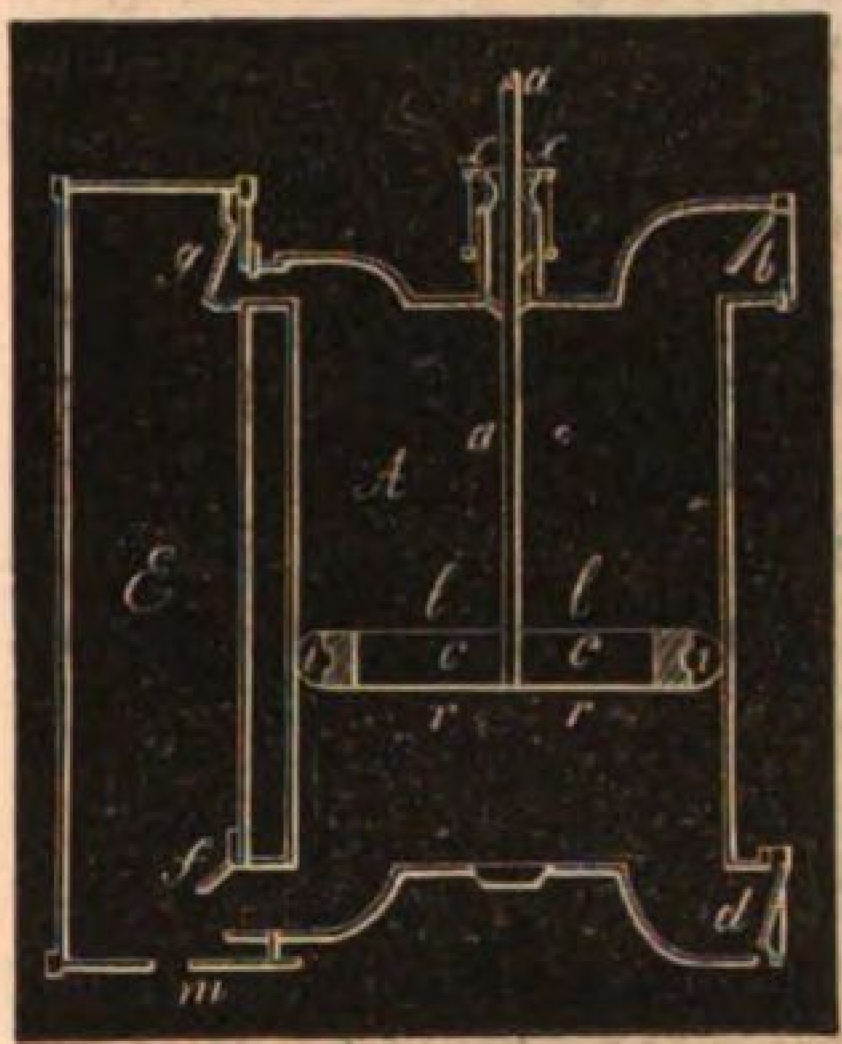
---

*) Karsten, Metallurgie. Bd. III. S. 191. Prechtl, Eisenhüttenkunde. Bd. I. S. 240. Prechtl, Technolog. Encyklopädie. Bd. VI. S. 437.

**) Ritter von Gerstner, Mechanik. Bd. III. Cap. 12. Hartmann's Eisenhüttenkunde. Bd. I. S. 247. Prechtl, Encyklopädie. Bd. VI. S. 447. Karsten's Eisenhüttenkunde. Bd. II. S. 417. Dessen Metallurgie. Bd. III. S. 202.

bohrten gußeisernen Cylinder A (Fig. I.), in welchem ein Kolben C an den Wänden luftdicht schließend auf und nieder bewegt werden kann, geht die Kolbenstange a luftdicht durch die in der Mitte des oberen Deckels befindliche Stopfbüchse. Durch die Oeffnung bei b communicirt der obere, durch die Oeffnung bei d der untere Theil des Cylinders mit der freien Luft. Die Oeffnungen bei g und f aber verbinden den Cylinder mit einem viereckigen Kasten E. Bei b und d befinden sich Klappenventile, die sich nach Innen, bei g und f aber solche, die sich nach Außen öffnen. Wenn nun der Kolben niedergeht, schließt sich die Klappe bei d, die bei f aber öffnet sich und alle Luft aus dem unteren Theile des Cylinders wird in den Raum E getrieben. Unterdessen aber ist die Klappe bei g geschlossen, durch die Klappe bei b dringt Luft von Außen her in den oberen Theil des Cylinders. Wenn der Kolben wieder in die Höhe geht, schließt sich b und alle Luft, die beim Niedergange des Kolbens hier eingedrungen war, wird durch die Oeffnung bei g in den Kasten E geschafft, während f geschlossen ist, und sich der untere Theil des Cylinders wieder durch die geöffnete Klappe d mit Luft füllt. Die in E comprimirte Luft wird durch ein bei m angebrachtes Rohr nach der Düse geleitet.

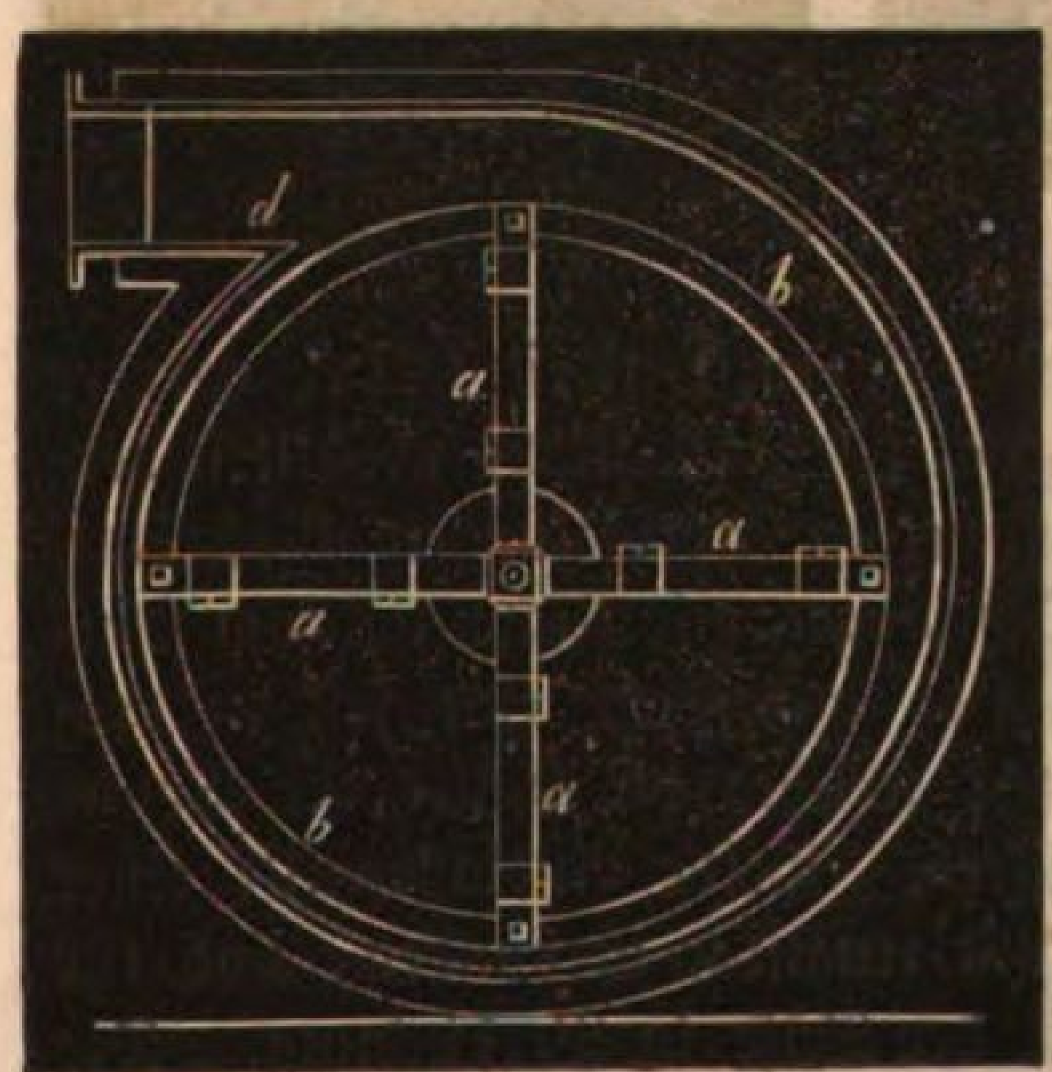
I.



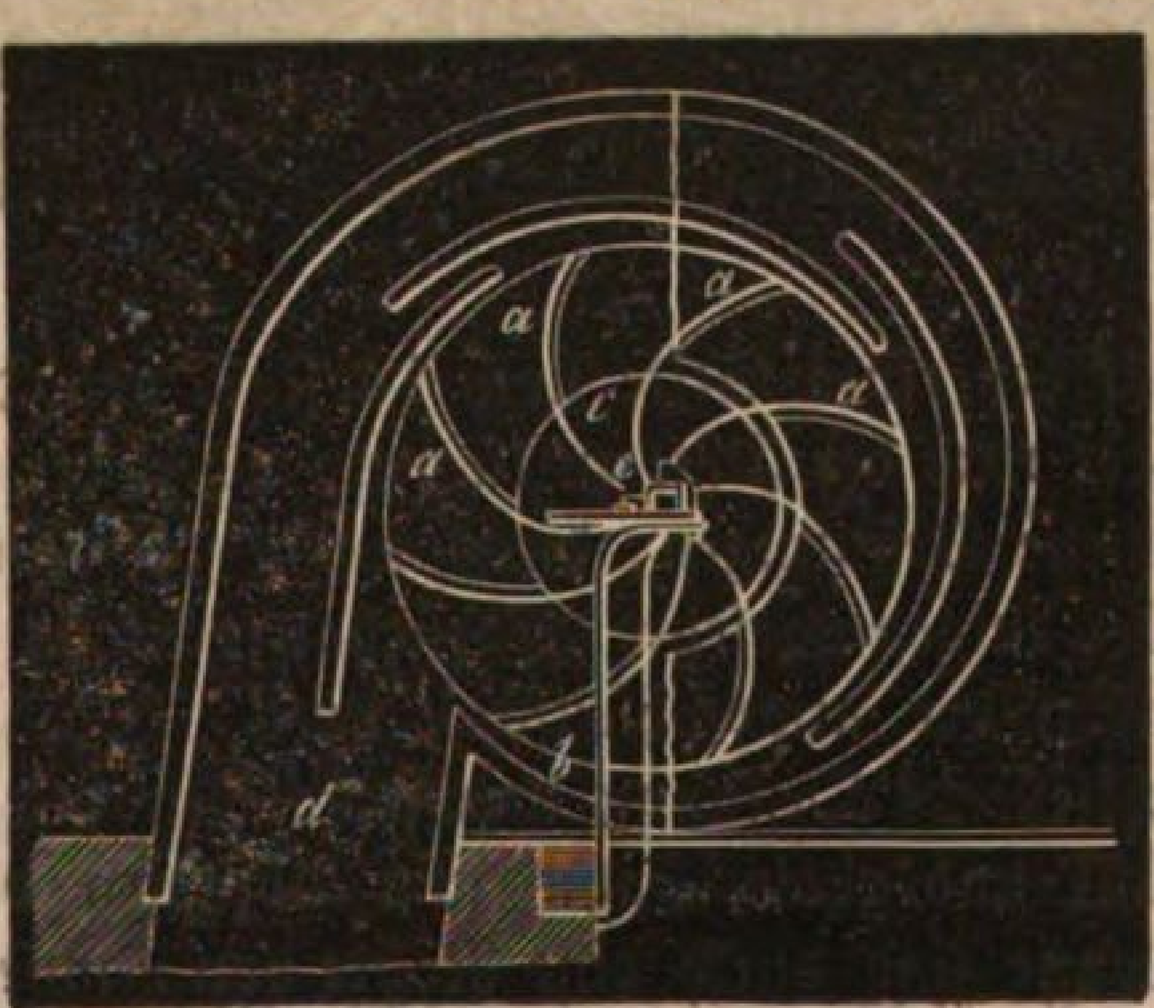
Zur Bewegung der Cylindergebläse wendet man entweder Wasserräder oder Dampfmaschinen an. Die Geschwindigkeit des Kolbens ist am größten, wenn er die Mitte des Cylinders passirt und nimmt um so mehr ab, je mehr er sich der oberen oder unteren Grenze seines Weges nähert. Daraus geht hervor, daß der Wind, welchen ein solcher Cylinder liefert, nicht gleichmäßig bei m ausströmt. Da aber für die meisten Zwecke ein gleichmäßiger Windstrom nöthig ist, so muß man dafür sorgen, ihn zu reguliren. Es geschieht dies durch Regulatoren, von denen noch ausführlicher die Rede sein wird.

5) Der Ventilator. In einem cylindrischen Gehäuse (Fig. II. und III.) von spiralförmig gekrümmten Seitenflächen und ebenen, verticalen Grundflächen,

II.



III.



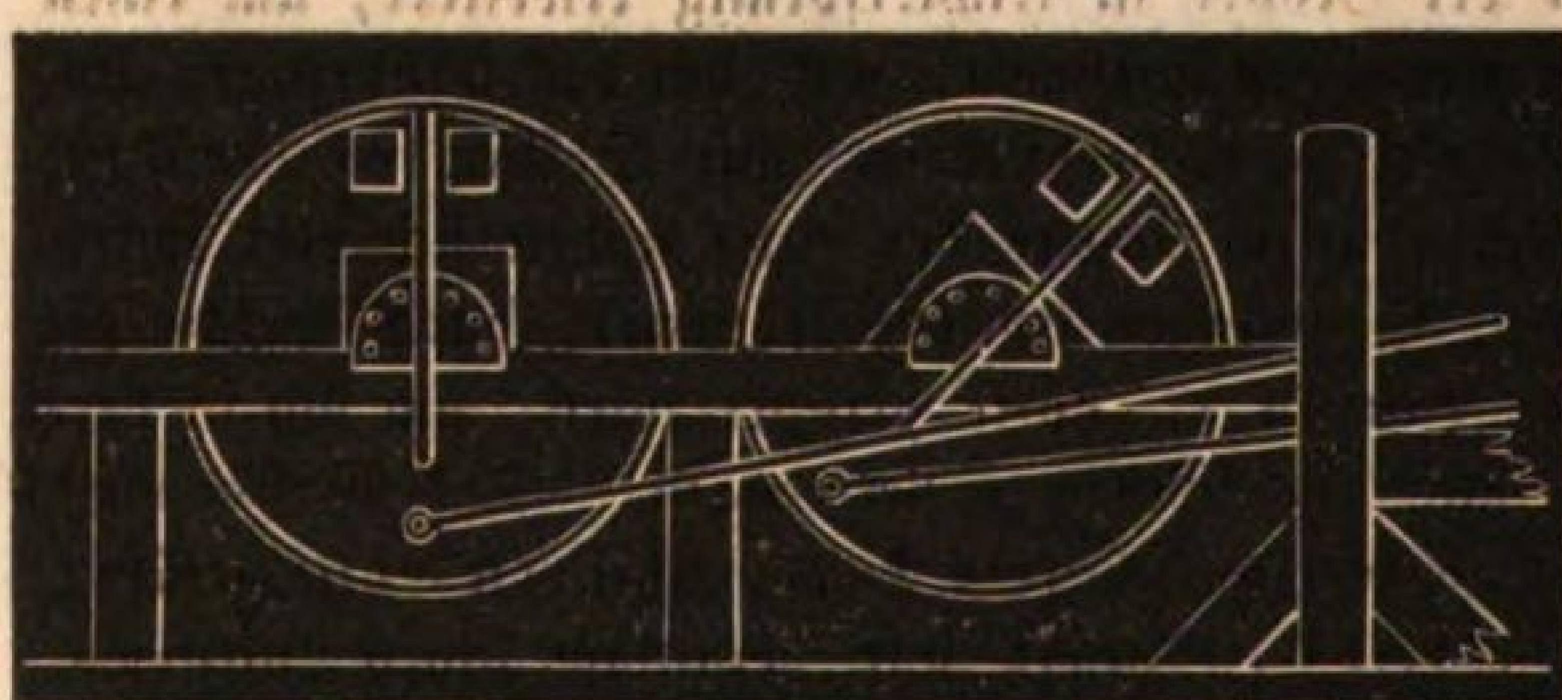
befinden sich auf eisernen an ihren Enden durch einen Kranz b b mit einander verbundenen eisernen Armen, 4 bis 8 ebene (Fig. II. S. 491) oder gekrümmte (Fig. III. S. 491) Flügel aus Eisenblech, a a, welche durch eine horizontale Axe, etwa 800 bis 1200 Mal in der Minute umgedreht werden. Rings um die Axe ist in jeder Seitenfläche eine Oeffnung c angebracht, durch welche die Luft zwischen die Flügel tritt, welche dann während der Umdrehung vermöge der Centrifugalkraft nach der Peripherie des Flügelrades getrieben wird, und dasselbe in tangentialer Richtung verläßt, um in den zwischen dem Flügelrade und der spiralförmigen Seitenfläche des Gehäuses oder ähnlich gekrümmten Scheidewänden unter einer der Zahl der Umdrehungen entsprechenden Geschwindigkeit zum Ausmündungskanal geführt zu werden. Die Entfernung der beiden Seitenwände des Gehäuses ist ungefähr dem Durchmesser der Oeffnung c gleich. Man hat dieses Gebläse, dessen Anlagekosten gering sind, vorzugsweise in England, mit gutem Erfolge statt des Cylindergebläses zu den verschiedenen Schmelzprocessen, mit Ausnahme des Hohofenbetriebs, angewendet.

B. Hydraulische Gebläse.

1) Die Glocken- oder sogenannten Baader'schen Gebläse (nach J. v. Baader in München benannt, der sie verbesserte und wieder in Anwendung brachte), sind als die einfachsten, aber auch mangelhaftesten dieser Art zuerst zu erwähnen. Ihr Princip ist wesentlich das der Gasometer, wie sie in den Gasbereitungsanstalten getroffen werden (s. Gasbeleuchtung).

2) Das Tonnengebläse besteht aus zwei hölzernen mit eisernen Bändern umgebenen $5^1/_2$ Fuß weiten und 4 Fuß langen Tonnen (Fig. I. und II.), die horizontal liegen und sich um zwei in der Richtung der Axe liegende Zapfen bewegen. Jede Tonne hat in der Richtung des Durchmessers einen Scheider, der

I.



II.

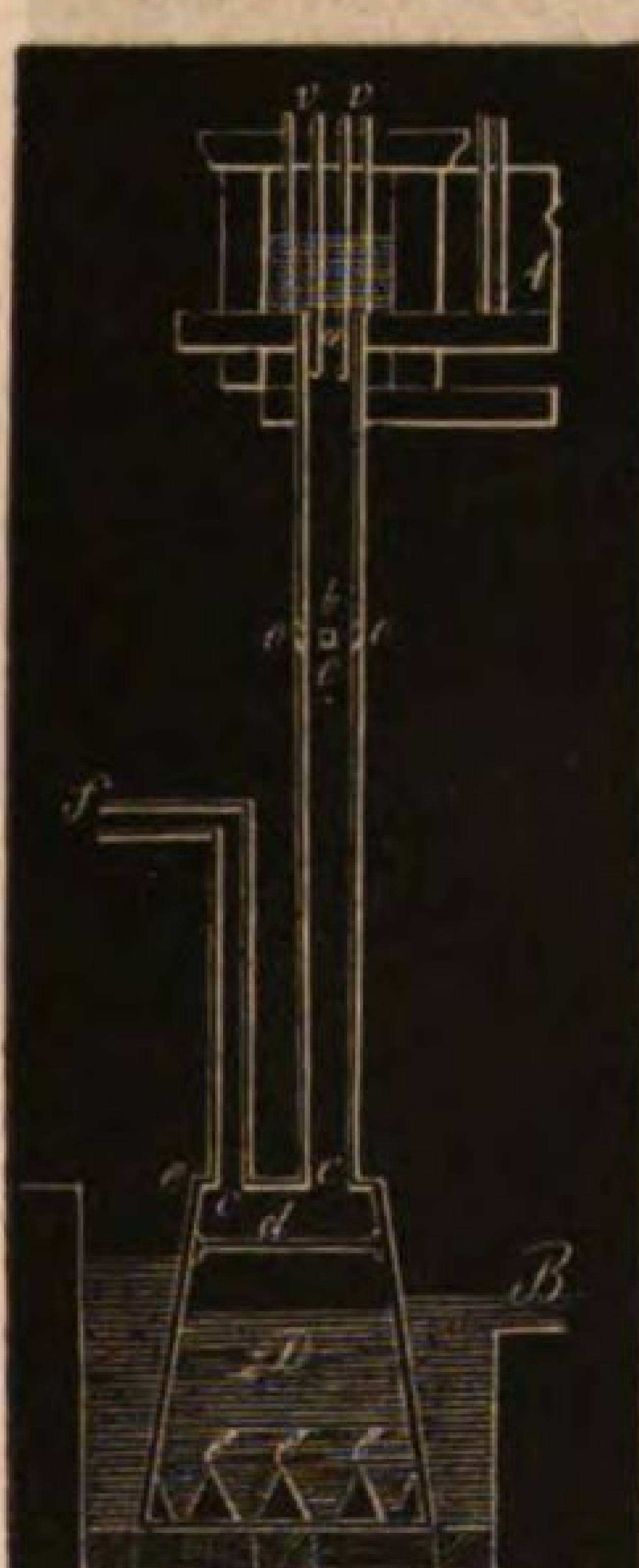


auf der einen Seite noch 14 Zoll von der Peripherie entfernt ist. Der vordere oder nach der Düse zu liegende Theil der Tonne hat zwei mit Klappenventilen versehene Oeffnungen, durch welche der Wind aus beiden Abtheilungen ausströmt. Der entgegengesetzte Boden hat ebenfalls zwei Oeffnungen mit Klappen, zum Einlassen der atmosphärischen Luft. Jede Tonne hat außerdem eine fest zu verschließende Oeffnung zum Eingießen des Wassers, welches die Hälfte der Tonne füllt und einen Hahn zum Abzapfen des Wassers. Beide Auslaßventile einer Tonne sind durch eine Röhre von Kupferblech mit einander verbunden, und ihr anderes Ende steht mittelst eines Schlauches mit der Düse in Verbindung. Die

Röhre hat eine knieförmige Biegung, welche mit dem Bogen, den die Ventile bei der Drehung der Tonne beschreiben, im Verhältniß steht. Die drehende Bewegung der Tonnen wird durch eine an dem Boden derselben um einen Bolzen bewegliche Stange (Fig. I. S. 492) hervorgebracht, deren anderes Ende mit einem Krummzapfen in Verbindung steht, der nur so hoch ist, daß, während er sich einmal um seine Axe dreht, die Tonne nur eine vor- und rückwärts gehende Bewegung um den dritten Theil ihres Umfangs macht. Wird die Tonne in Bewegung gesetzt, so nähert sich das Wasser in der einen Abtheilung der Tonne dem Scheider, während es sich in der anderen davon entfernt; in der Abtheilung b (Fig. II. S. 492) drückt alsdann das Wasser die eingeschlossene Luft zusammen, welche das Ausblaseventil aufstößt und sich nach der Düse begiebt, während zu gleicher Zeit in der anderen Abtheilung a eine Luftverdünnung stattfindet, so daß die atmosphärische Luft das Einlaßventil aufdrückt und eindringt. Bei der folgenden Drehung wird daher die Luft aus a ausgedrückt und in b aufgefangen u. s. f. Wiewohl der Nutzeffect dieses Gebläses nur ein geringer ist, so betrachtet man es doch als sehr zweckmäßig, wo man nur wenig und wenig gepreßten Wind nöthig hat.

Eine verbesserte Art des Tonnengebläses ist das sogenannte Ringgebläse, welches aus dem Trommelgebläse entsteht, wenn in jede Tonne ein kleinerer Cylinder concentrisch eingeschoben, und der ringförmige Zwischenraum oben von einer Scheidewand durchschnitten wird.

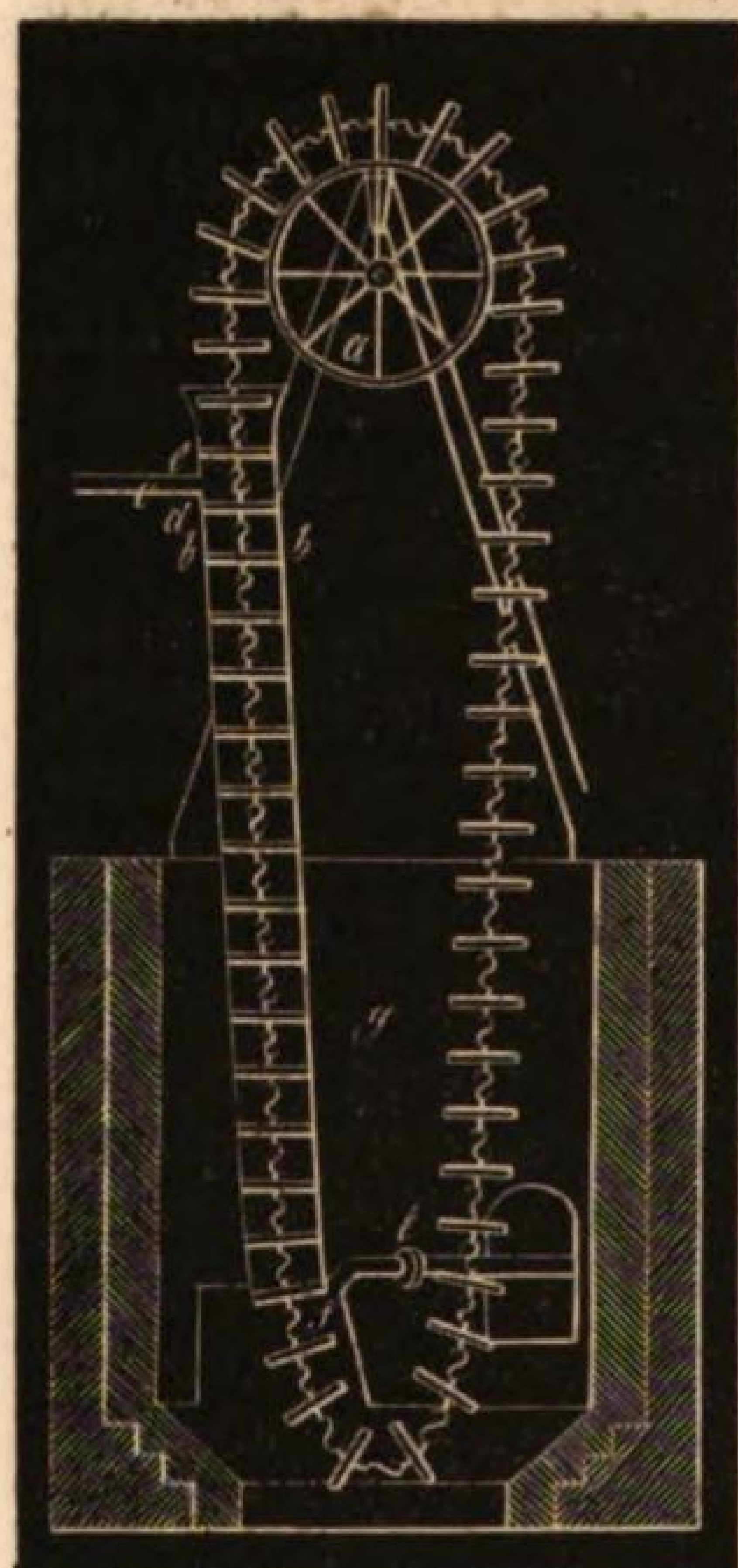
3) Die Wassertrommelgebläse*) beruhen auf der Eigenschaft des Wassers, bei seiner Bewegung die umgebende Luft mit fortzureißen und dieselbe fahren zu lassen, sobald die Bewegung plötzlich unterbrochen wird. Das Gebläse in beistehender Figur besteht aus einer senkrecht stehenden hölzernen Lutte oder Röhre abc, von quadratischem oder rundem Querschnitte, die ungefähr 8 Z. weit und einige 20 F. hoch ist. Der obere Theil der Röhre ist trichterförmig erweitert, um einen Wasserstrom aufzunehmen, und um das Eindringen von Unreinigkeiten zu verhindern, mit Stäben vv versehen. An dem engsten Punkte der Lutte finden sich vier schiefgebohrte Oeffnungen 00 (Luftröhren), durch welche die äußere Luft in die Lutte geführt wird, um sich in derselben mit dem Wasser zu vermengen. Das Wasser wird durch ein Gerinne A (die Arche) über die Lutte geführt, fällt in derselben hinab und veranlaßt einen Luftstrom, so daß die äußere Luft in die Luftröhren eintritt, und mit dem Wasser vermengt in eine Tonne oder einen Kasten (die Trommel D) fällt, welche das untere Ende der ganzen Vorrichtung und einen Sammelkasten bildet. Indem das Wasser auf den Stein oder das Brett d fällt, welches in einer gewissen Höhe in der Trommel angebracht ist, trennt es sich von der Luft, geht durch die Oeffnungen eee am Boden von jener in den äußeren Wasserbehälter und fließt durch den



*) Prechtl, Encyclopädie. Bd. VI. S. 449. Ausführlich in Karsten's Eisenhüttenkunde und dessen Metallurgie.

Kanal B ab. Die Luft, welche sich durch den Stoß auf dem Brette d getrennt, wird von dem Wasser in der Trommel zusammengedrückt, und durch die Windleitungsröhre e f dem Ofen zugeführt. Gewöhnlich stehen zwei oder mehrere Lutten in einer gemeinschaftlichen Trommel. Die Wassertrommelgebläse, obgleich sehr einfach und wohlfeil, geben einen geringen Nutzeffect, und empfehlen sich nur bei hohen Wassergefällen, wie bei Hüttenwerken in den Alpen und Pyrenäen. Die beiden folgenden Arten von Blasmaschinen, welche Erfindungen des Oberbergraths Henschel in Kassel sind, können als verbesserte Wassertrommelgebläse angesehen werden.

4) Das Kettengebläse ist ein Wassertrommelgebläse, in welchem der Zutritt der Luft auf bestimmte Weise regulirt wird. Beistehende Figur giebt eine Abbildung desselben. Ueber ein eisernes Leitrad ist eine eiserne Kette gehängt, an welcher in gleichen Entfernungen Scheiben von Eisenblech befestigt sind; auf der einen Seite ist die Kette von der nach der Kettenlinie gekrümmten, aus gußeisernen Röhrenstücken luftdicht zusammengesetzten Lutte b b so umschlossen, daß diese die Scheiben nicht berührt. Sobald das Wasser aus der Röhre c auf die zunächst unter derselben befindliche Scheibe d tritt, wird diese und mit ihr die ganze Kette in Bewegung gesetzt. Ehe aber der zellenförmige Zwischenraum, zwischen den Scheiben d und e, sich ganz mit Wasser gefüllt hat, tritt die Scheibe e unter die Röhre c und wird mit Wasser bedeckt, welches mit der Scheibe e die zwischen d und e verbleibende Luft abschließt. Auf diese Weise wird die Lutte unterhalb c mit zellenförmigen Luft und Wasser enthaltenden Räumen erfüllt, welche bei ihrem Eintritt in die Trommel f die Luft in dieselbe abgeben, während das Wasser und die Scheiben aus der unten offenen Trommel in das communicirende Bassin g übergehen. Die Scheiben sind, damit sie bei ihrem Durchgang durch das Wasser des Bassins einen möglichst geringen Widerstand finden, aus halbkreisförmigen Klappen zusammengesetzt, welche mit Charnieren auf geschmiedeten eisernen Stegen befestigt werden, und sich im Bassin, theils durch den Widerstand des Wassers, theils beim Aufgange durch ihre eigene Schwere von den Stegen zurückschlagen, auf diese aber beim Niedergange in sie wieder zurückfallen. Aus der Trommel f wird die Luft wie bei den einfachen Wassertrommelgebläsen, durch den Druck des im Bassin enthaltenen Wassers in die Leitungsröhre l getrieben. Die Kettengebläse sind mit Erfolg auf mehreren hannöverschen und churhessischen Eisenhütten angewendet worden. Sie geben bei weniger Aufschlagewasser einen guten Nutzeffect. Ihre Anlage- und Unterhaltungskosten sind aber nicht unbedeutend.

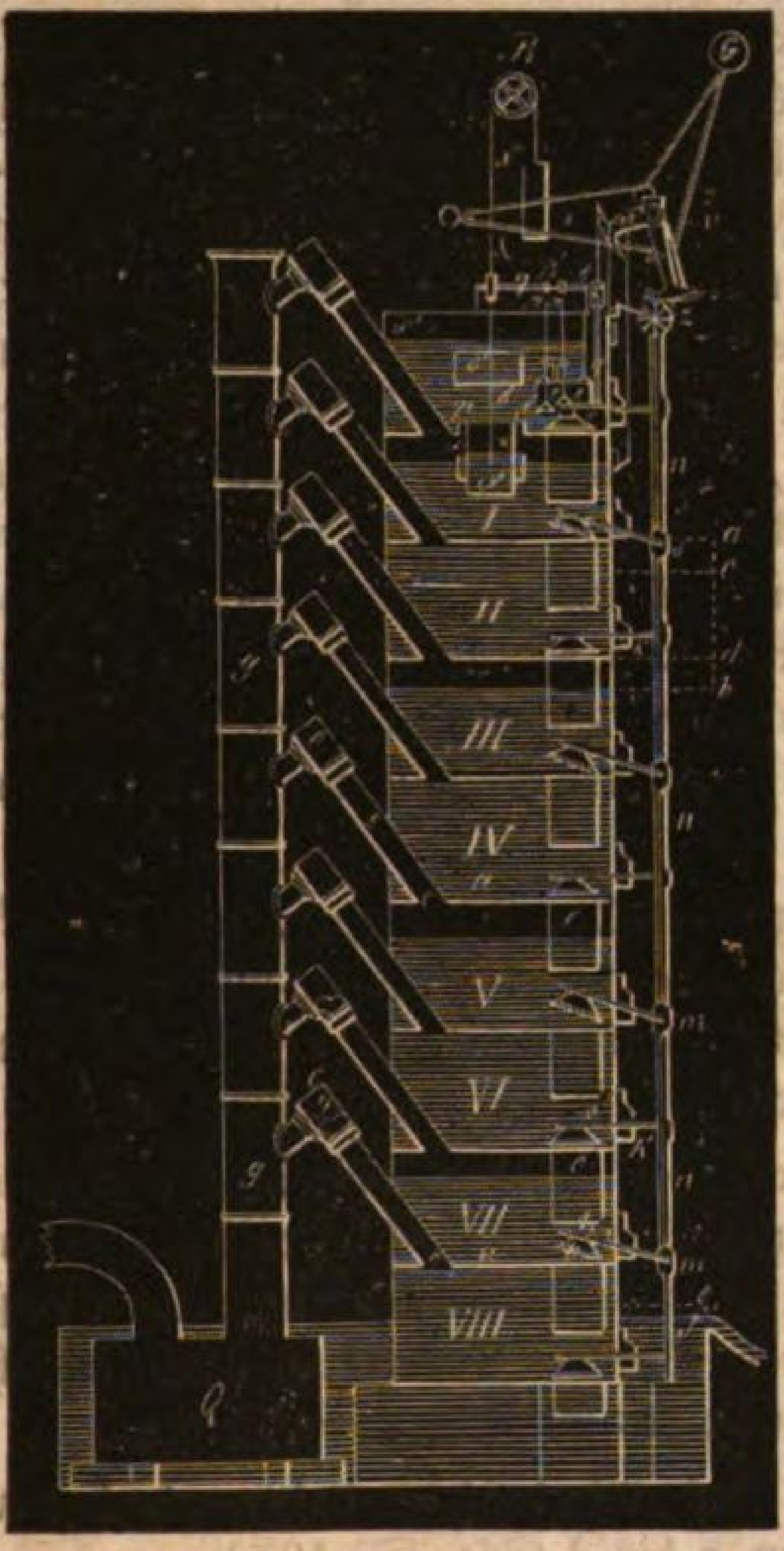


5) Das Wassersäulengebläse *) (siehe umstehende Figur), be-

*) Prechtl, Encyklopädie. Bd. VI. S. 452.

steht aus einer Reihe von übereinanderstehenden, gußeisernen Cylindern, die durch Böden so von einander geschieden sind, daß das einfallende Wasser nicht unmittelbar durch alle durchgehen kann, sondern, daß dasselbe bei seinem stufenweisen Durchgange, aus einem Cylinder in den anderen, die darin befindliche Luft durch eine dazu angebrachte Oeffnung austreibt. Es wirken daher abwechselnd der erste, dritte, fünfte und dann der zweite, vierte, sechste rc. — Nach Maßgabe des nutzbaren Wassergefälles und mit Berücksichtigung der nothwendigsten größten Pressungshöhen des verlangten Windes, wird allgemein eine gerade Anzahl Blasecylinder aufeinandergesetzt.

Je zwei dieser Cylinder haben einen gemeinschaftlichen Boden a, worin an einer Seite eine Oeffnung b, an der anderen eine kleinere c befindlich; erstere zum Durchlassen des Wassers mittelst der Röhre e aus einem Cylinder in den anderen, letztere zum Auslassen des Windes durch das Blaserohr f in das Sammlungsrohr g bestimmt. Ueber der Oeffnung der Fallröhren schweben Ventildecken an den geschmiedeten Hebelarmen s, welche durch die Oeffnungen der Ansätze (in der Seitenwand der Cylinder) in angeschraubte gußeiserne Hebelarme k sich endigen, die auf zwei Axen sich bewegen, und deren Enden bei m durch Bolzen mit den senkrechten Druckstangen n verbunden sind. Vor der Oeffnung der Ansätze an den Cylindern sind Lederplatten dicht aufgeschraubt, welche durch messingene Doppelmuttern d um die geschmiedeten Hebelarme gleichfalls dicht verbunden sind, so daß, wenn die Druckstangen n die in ihren Axen sich drehenden Hebelarme herunterdrücken, die Lederscheiben so viel nachgeben und zugleich die Oeffnungen wasserdicht verschlossen halten, so daß die Hebelarme s sammt den Ventildeckeln sich frei bewegen können. Auf den Blaseröhren f sitzen die Ventilkasten o, in welchen y dasjenige Ventil ist, wodurch ein Zurücktreten des ausgepreßten Windes verhindert wird.



Sämmtliche Blasecylinder Nr. I. bis VIII. haben gleiche Einrichtung und auch der oberste nicht blasende Cylinder, welcher den übrigen das Wasser zumißt und worin sich die Steuerung befindet, ist im Wesentlichen von den anderen nicht verschieden. Der Boden dieses Meßcylinders ist so erweitert, daß ein im Blasecylinder Nr. I. spielender Schwimmer S zur Hälfte seiner Dicke in denselben aufsteigen kann. Außer der Wasserfallröhre im Ventildeckel, befindet sich in diesem Kasten ein metallener Steuercylinder q, der durch die Röhre r mit dem Steuerkasten t verbunden ist. Der Kolben des oben offenen Steuercylinders ist an dem

Bogenstück u befestigt und bewirkt durch seinen Auf- und Niedergang eine Drehung der Welle v, an welcher die beiden Wellfüße u sitzen, die abwechselnd auf die Frictionsrollen z der Druckstangen n treten, und dadurch ein Auf- und Niedergehen derselben veranlassen, in der Art, daß, wenn die eine abwärts geht, die andere durch die auf den Ventildeckeln ruhende Wasserlast wieder aufwärts gedrückt wird. Die Hebelstücke und der Ventildeckel sind mit den beiden neben einander wirkenden Druckstangen so verbunden, daß die Deckel im ersten, dritten, fünften, siebenten 2c. Blasecylinder an der einen, die des zweiten, vierten, sechsten, achten 2c. an der anderen Stange hängen, damit, wenn die correspondirenden Ventile im ersten sich öffnen, die in dem zweiten sich schließen.

Die Wellfußwelle bewegt sich in Angewellen. Außerdem ist an dieser Welle noch ein Kniehebel befindlich, woran das Gewicht G den Niedergang der Druckstange bewirkt, während der Steuerkolben die andere niederbewegen und das Gewicht G mit aufziehen muß. Der Steuerkasten t hat in seinem Boden zwei Oeffnungen, wovon die eine β mittelst des Ventils von Außen, die andere γ aber durch das darüber befindliche Ventil von Innen abgeschlossen wird. Die Bewegungsstangen beider sind bei β' und γ' mittelst Schwingen an der kleinen horizontalen Welle η so verbunden, daß, wenn sich diese um 90° vor- oder rückwärts dreht, gleichzeitig beide Ventilstangen auf- und niederbewegt, und dadurch die Oeffnungen β und γ abwechselnd geöffnet oder geschlossen werden. Die Oeffnung β mündet frei in den mit Wasser gefüllten Meßcylinder, die Oeffnung γ dagegen in ein aus dem Cylinder herausgeführtes luftdichtes Abfallrohr, welches unterm Wasserspiegel des Bassins endigt. — Auf der Verlängerung der horizontalen Steuerwelle η dreht sich frei eine Seilscheibe, um welche das Kettenseil einmal so herumgeschlungen ist, daß das eine Ende nahe unten an der Schwimmerstange o befestigt, das andere aber über die Rolle R geleitet mit einem den Schwimmer balancirenden Gegengewichte belastet ist.

Der Schwimmer S ist ein Sandstein, geht in der Leitung α, und bewirkt durch sein Auf- und Niedergehen eine Umdrehung der Seilscheibe und eine Absteuerung der Ventile im Steuerkasten t. Das Windsammelrohr g steht auf dem Wasserregulator Q, aus welchem der Wind nach dem Feuerraume geführt wird.

Die Aufschlagewasser werden dem Meßcylinder durch ein Gerinne und eine Oeffnung z bis zu dem höchsten Stande s' zugeführt. Die Blasecylinder füllen und leeren sich nicht ganz, sondern es bleibt ein tiefster Wasserstand von einem Fuß unter, und ein höchster von einem Zoll von dem Boden. Ersteres ist hauptsächlich deshalb erforderlich, um eine zu starke Bewegung des Wassers zu vermeiden.

Die größte erreichbare Pressungshöhe des Windes ist daher gleich der Wassersäule von a bis b und die kleinste von c bis d (Fig. S. 495).

Bei dem in Fig. S. 495 dargestellten Gange der Maschine hat sich die zweite Cylinderreihe (I. III. V. VII.) in die erste ergossen, und die darin befindliche Luft durch die Blaseröhren ausgedrückt, während die zweite Reihe atmosphärische Luft durch die Ventile eingesogen und der Meßcylinder sich bis s' mit Wasser durch das Zuflußgerinne angefüllt hat, und bereit steht sich in den Blasecylinder Nr. I. zu ergießen, sobald der Schwimmer seinen tiefsten Stand erreicht, mittelst der Seilscheibe an der horizontalen Steuerwelle den Faller bis zum Ueberfall gehoben, und dieser durch sein Gewicht und erlangten Schwung beim Auffallen auf den Ansatz,

der an jener Welle festsitzenden Scheibe dieselbe um 90° gedreht hat, wodurch die Ventilstangen π niedergedrückt werden, und die daran hängenden Ventile die Oeffnung γ auf der hängenden Wassersäule vom Steuercylinder abgeschlossen, β dagegen geöffnet haben. In diesem Augenblicke, wo der Steuerkolben frei wird, wirkt das Gewicht G des Balanciers rückwärts, der freigewordene Steuerkolben wird in die Höhe gezogen, der Steuercylinder füllt sich durch die Ventilöffnung β im Steuerkasten mit Wasser, der Wellfuß w tritt auf die Ventildruckstange der ersten Cylinderreihe (II., IV., VI., VIII.) und es öffnen sich deren Ventildeckel auf den Wasserabfallröhren, während sich die der zweiten Reihe schließen, der Schwimmer steigt, bewegt die Seilscheibe sammt Faller rückwärts, der Faller fällt auf den anderen Ansatz der an der Steuerwelle befestigten Scheibe, und dreht beide um 90° zurück, wodurch die Ventilstangen π aufwärts gezogen werden, und das Ventil β sich schließt, γ aber öffnet; dadurch wird die Wassersäule im Rohre ε wirksam, welche frei unter dem Steuerkolben hängend, diesen herunter und das Gegengewicht G wieder aufwärts zieht, während der Wellfuß w die Druckstange der ersten Cylinderreihe verläßt, gleichzeitig der andere auf die Rolle tritt und die zweite Cylinderfolge sich in die erste ergießt, wodurch der Schwimmer sinkt, der Meßcylinder sich füllt rc. und ein gleichförmiger Gang der Maschine sich einstellt. — Das benutzte Wasser geht aus dem untersten Cylinder ins Bassin.

Dieses Gebläse ist zwar complicirt und theurer als ein Cylindergebläse, aber dadurch ausgezeichnet, daß es mit weniger Wasser verhältnißmäßig mehr Wind als irgend ein anderes hydraulisches Gebläse liefert.

Der Ventilator, das Wassertrommel-, Ketten- und Wassersäulen-Gebläse geben unmittelbar einen gleichmäßigen Luftstrom; wo dies nicht stattfindet, läßt man zweckmäßiger das Gebläse in einen eingeschlossenen Raum, Regulator münden, welcher groß genug ist, um die Luft, ungeachtet des ungleichen Windzuflusses, mit fast gleichförmiger Geschwindigkeit der Düse zuzuführen.

Man unterscheidet dreierlei Arten von Regulatoren. Die erste vorzüglichere Art nennt man Windregulatoren mit unveränderlichem Inhalt. Sie bestehen gewöhnlich aus einer Kugel oder aus einem Ballon von Eisenblech, dessen einzelne Tafeln vernietet und ganz luftdicht verbunden sind. Auf der einen Seite stehen sie mit dem Gebläse, auf der anderen mit der Düse in Verbindung. Der Rauminhalt des Regulators ist oft, besonders bei manchen englischen Maschinen, 40 bis 50 Mal größer als der des Gebläsecylinders. Auch gebraucht man gemauerte Kammern oder natürliche Höhlen als Regulatoren. Zu Devon in Schottland z. B. benutzt man eine in einen Sandsteinfelsen gehauene, durch Verpichen und Auskleben mit Werg und Papier luftdicht gemachte, 72 Fuß lange, 14 Fuß breite und 13 Fuß hohe Höhle.

Die zweite Art von Regulatoren hat einen veränderlichen Inhalt; man nennt sie Trockenregulatoren. Sie bestehen aus einem glattausgebohrten Cylinder, der mit einem Boden versehen ist, der aber statt des Deckels einen schweren Kolben hat, der sich frei und ungehindert, durch eine, von einer Leere umschlossene Kolbenstange senkrecht gehalten, auf- und nieder bewegen kann. Der Kolben hat

dieselbe Liederung wie der Gebläsekolben, und ist mit dem Sicherheitsventile versehen. Der Boden hat zwei Oeffnungen, von denen die eine mit dem Gebläse, die andere mit der Düse in Verbindung steht. Beide Oeffnungen bedürfen keiner Ventile. Der aus dem Blasecylinder in den Regulator tretende Wind dehnt sich nach allen Seiten gleich stark aus und wird daher zum Theil aus der Düsenöffnung entweichen, zum Theil aber auch den Kolben des Regulators in die Höhe heben.

Die dritte Art von Regulatoren sind die Wasserregulatoren. Sie bestehen aus einem luftdichten, von allen Seiten verschlossenen, und nur auf der unteren Seite offenen Gefäß, dem Windkasten, welcher mit dieser offenen Seite dergestalt in ein mit Wasser angefülltes Reservoir, den Wasserkasten, gesenkt ist, daß zwischen der Wasserfläche und dem Deckel des Behälters noch ein mit Luft erfüllter Raum übrig bleibt. Die unteren Ränder des Windkastens stehen nicht unmittelbar auf dem Boden des Wasserkastens, sondern auf Unterlagen, so daß der Wasser- und der Windkasten als zwei communicirende Gefäße anzusehen sind, in denen das Wasser gleich hoch steht, wenn innen und außen der Luftdruck gleich ist. Wird der Druck inwendig größer, so muß der äußere Wasserspiegel steigen. Die Wasserregulatoren müssen einen bedeutend größeren räumlichen Inhalt haben als die Gebläse, damit sich die Höhe der Wassersäule nicht bedeutend verändere. Dieselben sind in der Anlage etwas kostbar, bedürfen aber, wenn sie gut und sorgfältig construirt sind, fast gar keiner Unterhaltung.

Man hat die Erfahrung gemacht, daß durch erhitzte Gebläseluft eine Ersparung an Brennmaterial erzielt wird, deshalb pflegt man den Wind aus dem Gebläse, ehe er in die Düse geht, durch mehrfache Röhrenleitungen zu treiben, die so angelegt sind, daß ihnen vom Feuerraume aus eine hinreichend hohe Temperatur mitgetheilt werden kann.

Zur Bestimmung der Ausströmungsgeschwindigkeit v der Gase benutzt man gewöhnlich die Formel $v^2 = 2gh$, in der h den durch eine Flüssigkeitssäule von der Dichtigkeit des eingeschlossenen Gases ausgedrückten Ueberschuß des inneren Druckes über den äußeren und g die Beschleunigung der Schwere bezeichnet. Ist nun ϱ die Dichtigkeit des Gases unter dem Drucke einer Säule tropfbarer Flüssigkeit von der Höhe π und der Dichtigkeit r, P und p resp. der innere und äußere Druck, so ist

$$h = (P - p)\,\frac{r}{\varrho}\cdot\frac{\pi}{P}, \text{ so daß}$$

$$v^2 = 2g\,\frac{r}{\varrho}\,\pi\,\frac{P - p}{P}.$$

Röber *) macht darauf aufmerksam, daß bei der Bildung dieser Gleichung unberücksichtigt geblieben ist, daß das eingeschlossene comprimirte Gas, indem es durch die Oeffnung ausströmt, die Spannung des äußeren Mediums annimmt, und daß also außer der Kraft, welche erforderlich ist, um den inneren Druck, während eine bestimmte Menge des Gases ausfließt, zu erhalten oder, mit anderen Worten, um das comprimirte Gas unter einem constanten Druck auszupressen, noch die Kraft in Rechnung gebracht werden muß, welche zur Zurückführung der ausgeströmten

*) Handwörterbuch d. Chem. u. Phys. Bd. II. S. 211.

Gasmenge auf die innere Spannung nöthig ist. Mit Berücksichtigung dieser Umstände erhält Röber durch Rechnung die Formel.

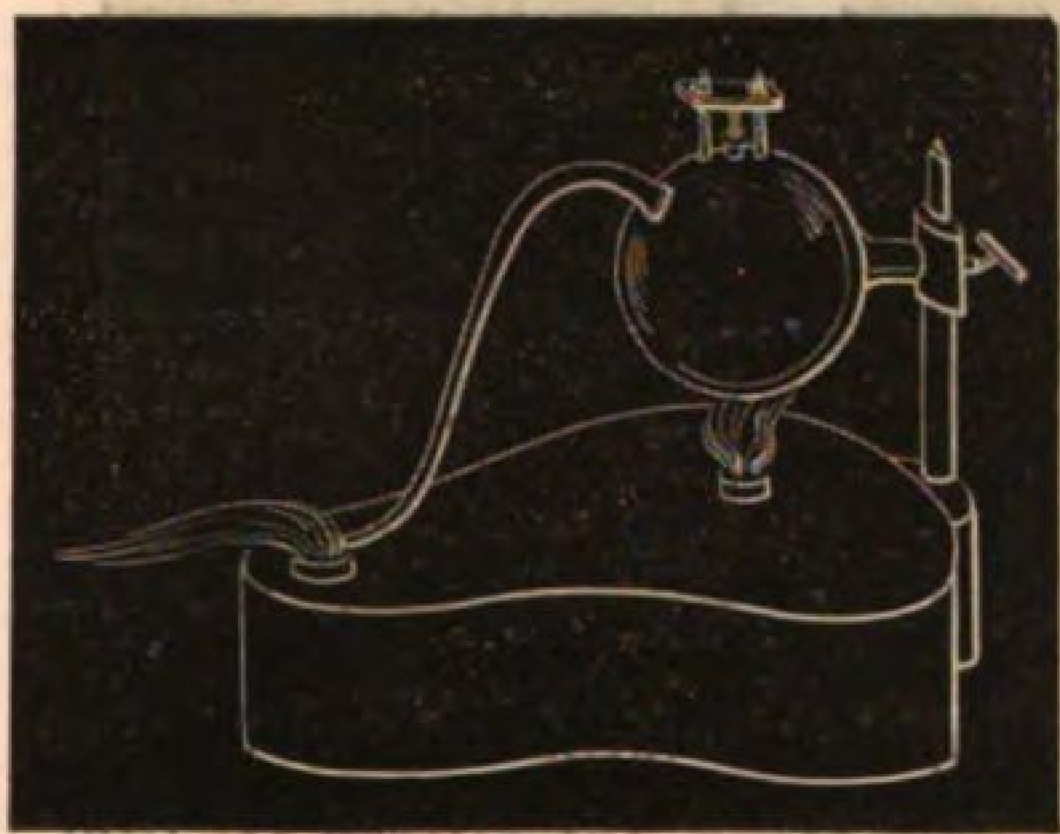
$$v^2 = 2g \frac{r}{\varrho} \log. \text{nat.} \frac{P}{p}.$$

Um den Druck der Luft in den verschiedenen Theilen des Gebläseapparats zu bestimmen, bedient man sich eines Manometers, welches für diesen besonderen Fall den Namen eines Windmessers führt (s. d. Art. Manometer).

Bei verschiedenen chemischen, mineralogischen und metallurgischen Versuchen finden nachstehende kleinere Blasvorrichtungen mitunter eine nützliche Anwendung.

1) Das Löthrohr (s. d. Art.).

2) Das Weingeistlampengebläse. Man hat demselben sehr mannichfaltige Formen und Einrichtungen gegeben; es sei hier nur eine Art erwähnt welche Prechtl *) beschreibt. Es besteht aus einer Oellampe (s. beistehende Figur), von länglicher Form mit zwei Dochten, einem größeren an dem vorderen Theile und einem kleineren rückwärts. Unter dem



letzteren befindet sich eine Kugel aus Kupferblech, die an ihrem Träger in beliebiger Höhe gestellt werden kann. Von dem oberen Theile dieser Kugel läuft die gekrümmte Röhre aus, durch welche der Dampf in die Flamme des größeren Dochtes geführt wird; oben hat sie eine Oeffnung, welche durch ein Sicherheitsventil verschlossen ist; die Oeffnung dient zugleich, um in die Kugel Weingeist einzugießen. Ist dieser Weingeist durch die unter der Kugel brennende Flamme zum Sieden gebracht, so strömt der Dampf durch die Flamme des großen Dochtes, und bildet eine horizontale, ziemlich ausgebreitete Flamme, deren Hitze von nicht sehr bedeutender Intensität ist, jedoch zum Biegen von Glasröhren und dergleichen verwendet werden kann. Wirksamer wird die Flamme, wenn man die Kugel statt mit Weingeist, mit Terpentinöl und Wasser (zu gleichen Theilen) oder mit Terpentinöl und Weingeist füllt. Wenn das Wasser oder der Weingeist siedet, so nimmt dessen Dampf den Terpentinöl-Dampf mit sich und treibt ihn durch die Flamme, wo er, durch den Wasserdampf verdünnt und in einen größeren Raum ausgebreitet, vollständiger mit der atmosphärischen Luft in Berührung tritt.

3) Die Erhard'sche Löthrohrlampe mit Terpentinöldampf **). Man erhält hier durch Vermischen von Terpentinöldampf mit Luft eine Kohlenstoff und Wasserstoff haltende Knallgasflamme, in welcher Gold und Kupfer mit der größten Leichtigkeit schmelzen. Es bildet sich hier auch ein Knallgas, dessen Verbrennung daher nur unter denselben Vorsichtsmaßregeln vorgenommen werden darf, wie die des gewöhnlichen Knallgases. Die umstehenden Figuren I. und II. stellen

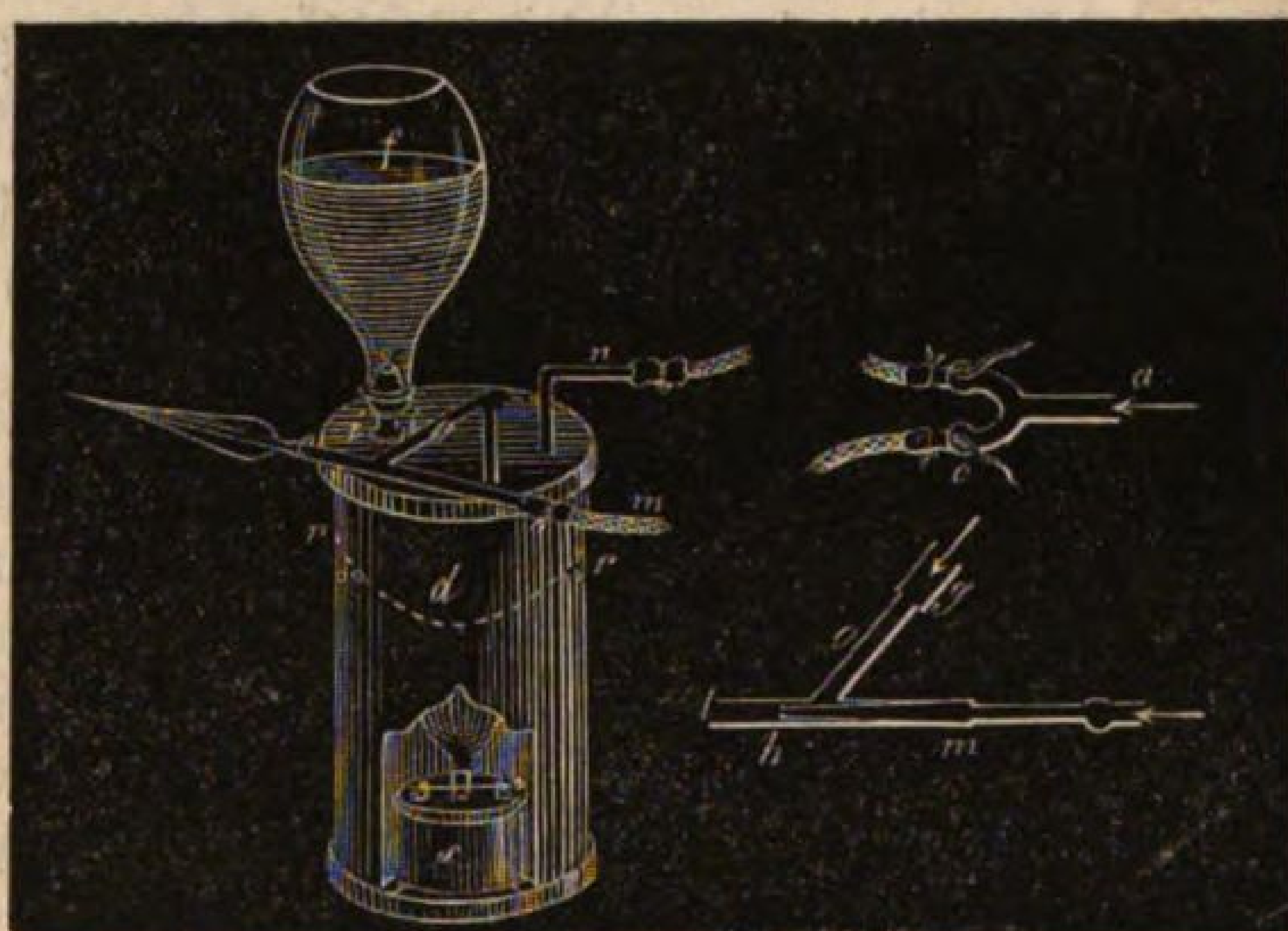
---

*) Prechtl, Encyklopädie. Bd. VI. S. 478.

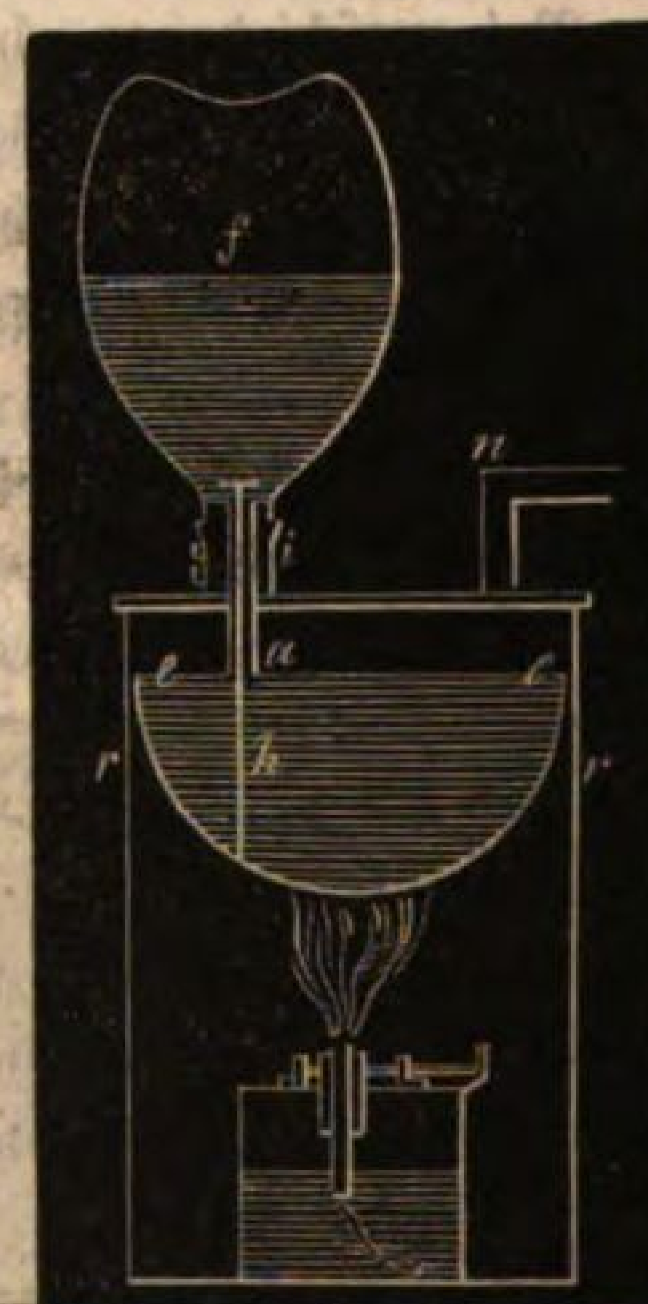
**) A. Payen's Gewerbschemie, deutsch von Fehling. Stuttgart 1850. S. 48 in der Anmerk. des Uebersetzers.

eine solche Terpentinölgaslampe dar. d ist ein halbkugelförmiges, Terpentinöl enthaltendes Gefäß von Kupfer, dessen Deckel luftdicht aufgelöthet ist. Dieses Gefäß wird durch die Glasflasche f stets bis zu einem bestimmten Niveau mit Terpentinöl gefüllt erhalten, vermöge eines Verschlusses, wie bei den gewöhnlichen Flaschenlampen. Durch den die Flasche f schließenden Korkstöpsel geht nämlich ein Messing-

I.



II.

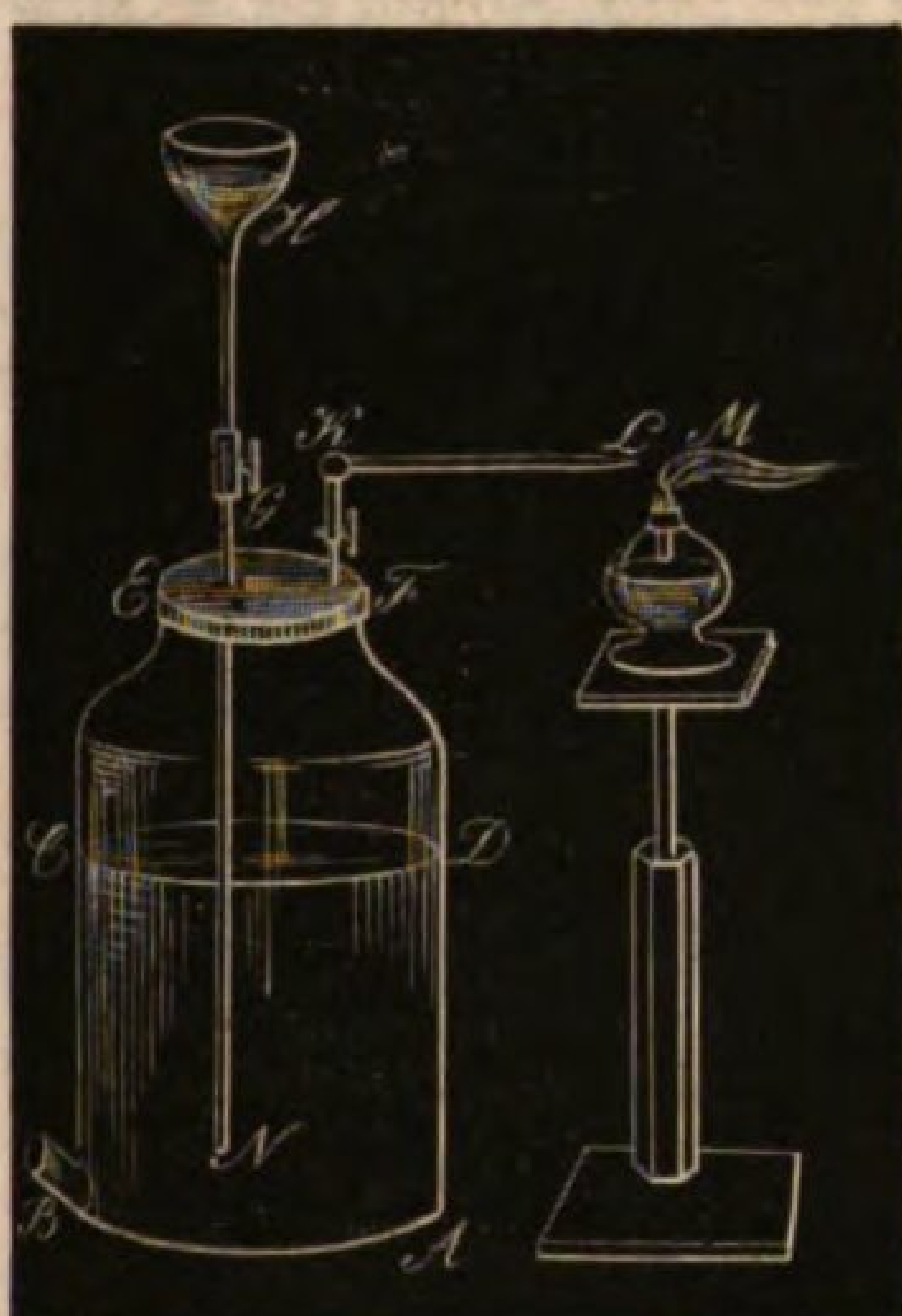


rohr, an dem die Schraube bei i auf den Deckel luftdicht aufgeschraubt wird. Das Messingrohr reicht etwa in den Kessel bis e hinein, wodurch das Niveau der Flüssigkeit bestimmt ist. Beim Umkehren der Flasche f ist das Messingrohr darin durch eine kleine Platte geschlossen, welche an einem Draht befestigt ist. Beim Aufschrauben stößt dieser Draht auf den Boden des Kessels und hebt so die Platte, das Terpentinöl fließt aus, und füllt den Kessel bis zum Rohre. Beim Gebrauche wird nun in dem Maß Oel nachfließen, als es verzehrt wird, so daß das Niveau fast constant bleibt. Mittelst der Spirituslampe s, deren Flamme regulirt werden kann, wird das Terpentinöl bis nahe zum Sieden erhitzt. Damit aber die Flamme bei s brennen kann, hat der Ofen, der den Kessel trägt, bei r r in der ganzen Peripherie kleine Oeffnungen. Wird ein Blasebalg, welcher durch ein passendes Rohr mit dem Knierohr b c in Verbindung steht, in Thätigkeit gesetzt, nachdem der Hahn bei b geöffnet worden ist, so tritt Luft durch das Rohr n von der einen Seite in den Kessel mit erhitztem Terpentinöl, und indem sie darüber fortstreicht, sättigt sie sich mit dem Dampf desselben, entweicht durch o bei l und läßt sich hier entzünden. Ist die Flamme dabei kurz und blau, so ist das Oel nicht heiß genug, tröpfelt aus dem Rohre o aber Terpentinöl, so ist es zu stark erhitzt und die Flamme bei s muß verkleinert werden. Um nun die zum Verbrennen nöthige Quantität Luft in die Flamme selbst zu blasen, wird jetzt der Hahn bei e geöffnet. Die Luft tritt dann durch das dünnere Rohr h in l und mischt sich hier der Oeldampf haltenden Luft bei, so daß die Verbrennung des Wasserstoffs und Kohlenstoffs dann in der Flamme durch die Gebläseluft auf einem kleinen Raume erfolgt, und eine Hitze giebt, bei der Gold und Kupfer leicht schmelzen. Um das Zurückschlagen der Flamme

in den Kessel mit Terpentinöl unmöglich zu machen, enthält das Rohr o bei g einige Stücke von dünnem Drahtnetz, welche dann ähnlich wirken wie bei der Davy'-schen Sicherheitslampe.

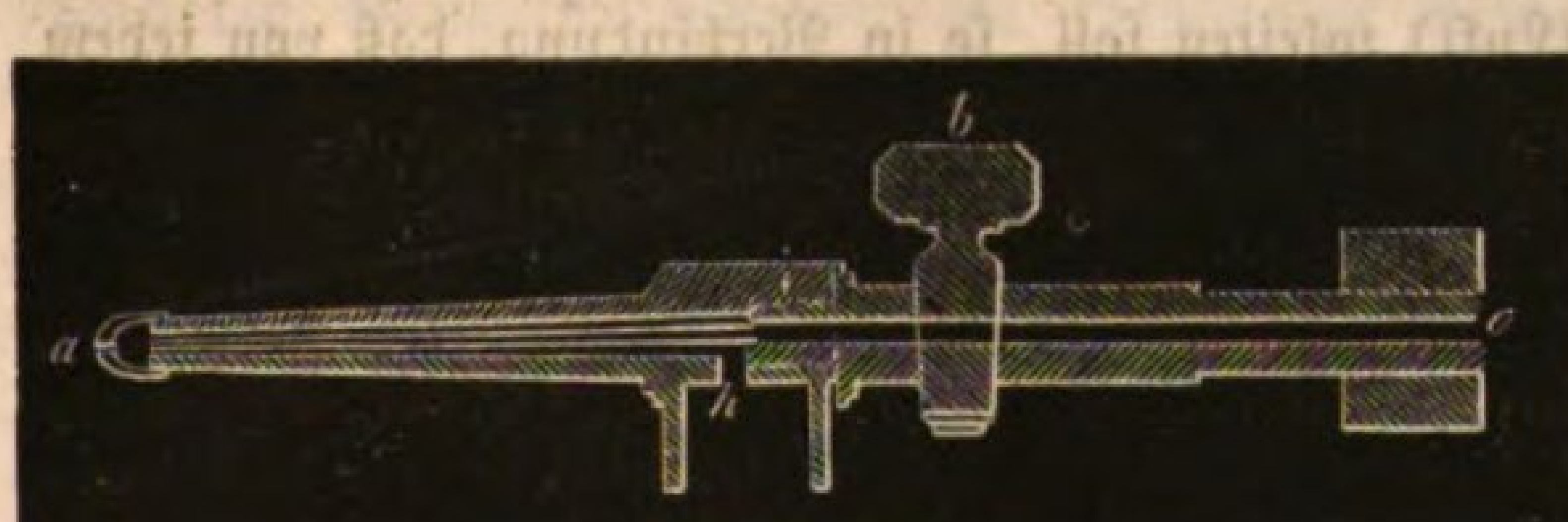
4) Das Sauerstoffgebläse. Um bei kleinen Schmelzversuchen einen hohen Hitzgrad hervorzubringen, treibt man statt der atmosphärischen Luft Sauerstoffgas in die Flamme, wobei man sich zweckmäßig des Apparates Fig. I. bedient. Das Gefäß A B E F kann bei B geöffnet und mit Gas gefüllt werden. In den Trichter bei H wird Wasser gegossen und durch den Druck dieser Flüssigkeitssäule das Gas durch die Röhre JKL durch die Oeffnung L in die Flamme M geblasen. Die Flamme, in welche man das Sauerstoffgas einströmen läßt, ist gewöhnlich eine Weingeistflamme; doch geben Steinöl oder Terpentinöl eine noch stärkere Hitze. Die Hitze dieser Flamme ist so groß, daß Eisen, Platin und Quarz leicht schmelzen, obgleich letztere beide Substanzen selbst im Eisenofen nicht schmelzbar sind. Die kleinen Körper legt man auf ein Stückchen harte Kohle, um die Stichflamme darauf zu leiten.

I.



5) Das Sauerstoff-Wasserstoffgebläse. Hierher gehört das Newmann'sche (Clarke'sche) Gebläse *), welches aus einem hinreichend starken metallenen Behälter besteht, in welchen mittelst einer Compressionspumpe eine Mischung von 1 Maß Sauerstoffgas mit 2 Maß Wasserstoffgas (Knallgas) eingepreßt wird, welches dann durch eine Löthrohrspitze mit feiner Oeffnung ausströmt, und entzündet die heftigste Hitze hervorbringt. Damit die Entzündung des Knallgases sich nicht in das Innere des Behälters fortpflanze, ist es zweckmäßig, für beide Gase abgesonderte Gebläse herzustellen, und diese in der Art zusammenwirken zu lassen, daß aus beiden Behältern die beiden Gase in einen gemeinschaftlichen Hahn zusammenkommen und an dessen Mündung zusammen verbrennen.

Daniell (oder Maugham) **) hat hierzu einen besonderen Hahn construirt, der eine Explosion geradezu unmöglich macht. Die Fig. II. zeigt die Einrichtung des Hahnes. Derselbe besteht aus einem inneren Rohr o, welches mit einem Sauerstoffbehälter in Verbindung gesetzt werden kann, und einem zweiten weiteren Rohre, welches



*) Journ. of Sc. and the Arts N. III. p. 104. Schweigger. Bd. XVIII. S. 228. Gilbert. Bd. LV. S. 1.

**) Payen, Gewerbschemie, deutsch von Fehling. Stuttgart 1850. S. 45. Prechtl, Encyklopädie. Bd. VI. S. 480.

auf das erstere luftdicht angeschraubt ist, dabei aber zwischen dem inneren Rohr und der äußeren Hülse hinlänglich Raum läßt, um hier etwa doppelt so viel Gas, als durch die innere Röhre strömen zu lassen.

Wird nun der Hahn bei o mittelst des Korkes mit einem Sauerstoffbehälter, und bei h durch ein Rohr und Kork auf ähnliche Weise mit einem Wasserstoffgasometer verbunden, öffnet man dann den letzteren Gas zuführenden Hahn, so strömt dieses in den Raum zwischen Hülse und innerem Rohr und entweicht bei a in die Luft, wo es sich entzünden läßt. Läßt man nun durch Oeffnen des Hahnes bei b Sauerstoff zuströmen, so trifft dieser vor der Mündung der Röhre den Wasserstoff und verbrennt diesen, so daß dieses Gas jetzt nicht mehr wie anfänglich auf Kosten des Sauerstoffs der Atmosphäre verbrennt. Zweckmäßig ist es den Hahn bei a mit einem kleinen aus dickem Metall gebohrten Hütchen zu bedecken, so daß beide Gase durch dieses gemengt austreten.

Eine Fortpflanzung der Verbrennung ist nicht möglich, da dazu beide Gase nöthig sind, beide Gase sich aber erst beim Ausströmen mengen. Außer daß man mit dieser hier erzeugten Hitze sonst ganz unschmelzbare Körper schmelzen kann, hat man diese Flamme auch zum Löthen angewendet, namentlich um Blei mit Blei zu löthen, Kupfer mit Kupfer, Zink mit Zink rc., während man sonst in der Praxis jedes Metall mit einer Legirung löthen muß, die leichter schmilzt als das Metall selbst; Blei z. B. wird mit einem Loth aus Blei und Zinn gelöthet, Kupfer mit einem Loth aus Kupfer und Zink rc. Dieses Löthen mit solchem ungleichen Loth hat den Nachtheil, daß bei Einwirkung besonders von sauren Flüssigkeiten auf solches Loth, dasselbe leichter oxydirt und zerfressen wird, als das reine Metall selbst. Bleiplatten mit Blei gelöthet werden daher an den Löthstellen nicht so leicht zerfressen, als gewöhnliche mit Blei und Zinn gelöthete, was schon beim Gebrauche solcher Gefäße für Wasser von Werth ist, noch mehr aber wenn saure Flüssigkeiten, wie verdünnte Schwefelsäure, damit in Berührung kommen.

Desbassains de Richemond *) in Paris hat zuerst die Anwendung dieses Verfahrens (er nennt das Verfahren soudure autogène, Löthung ohne Loth, d. h. durch Zusammenschmelzen der Kanten) für technische Zwecke versucht und einen sehr passenden Apparat dazu in Anwendung gebracht, der in Paris vielfach in Gebrauch ist zum Löthen von Blei, Kupfer, Gold und Platin.

Die Einrichtung des zu diesem Apparat nöthigen Wasserstoffentwickelungsgefäßes ist im Princip dieselbe wie die der Döbereiner'schen Wasserstoffzündmaschine; nur ist der Apparat der Stärke wegen von Kupfer und der Säure wegen mit Blei ausgekleidet. Dieser Wasserstoffapparat steht nun mit einem Blasebalg, der den nöthigen Sauerstoff (Luft) zuleiten soll, so in Verbindung, daß von jedem ein elastisches Rohr von Kautschuk oder Leder ausgeht, welche beide Röhren vermittelst eines doppelten Kniestücks von Messing sich vereinigen. An diesem Kniestück ist dann ein kurzes, sehr enges Rohr befestigt, aus welchem man zuerst nach Oeffnung des Hahnes Wasserstoff austreten läßt und diesen entzündet. Darauf bläst man vermittelst des Blasebalgs Luft hinzu, worauf die Flamme kleiner, aber zugleich spitzer wird. Von der Geschicklichkeit des Arbeiters hängt es nun ab, beide Hähne so zu stellen, daß Luft und Wasserstoff im richtigen Verhältniß zusammen kommen. We.

---

*) Payen, Gewerbschemie, deutsch rc. S. 47.

Gedrittschein, s. Aspecten.

Gefälle, s. Bewegung des Wassers Bd. I. S. 847.

Gefäßbarometer, s. Barometer.

Gefrieren, s. Aggregat und Eis.

Gefühl, s. Tastsinn.

Gegenschein, s. Aspecten.

Gehen ist die bekannte regelmäßige, in abwechselndem Vorwärtssetzen der Beine bestehende Bewegung, bei welcher der Körper nie ganz der Unterstützung ermangelt, wie es beim Sprunge der Fall ist, wo der Körper längere oder kürzere Zeit vom Boden erhoben ist.

Bei den mit dergleichen Gehwerkzeugen versehenen organischen Wesen macht es zunächst einen Unterschied, ob dieselben mit zweien, oder vieren oder noch mehreren derselben versehen sind.

Nicht von allen zweibeinigen Geschöpfen kann man sagen, daß sie die Beine zum Gehen gebrauchen; ein Sperling z. B. geht nicht, sondern hüpft, hingegen die Bachstelze, das Huhn, der Rabe ꝛc. gehen.

Bei den vierfüßigen Thieren hat man Schritt, Paß, Trab, Galopp und Galopp forcé zu unterscheiden.

Der Schritt ist die gewöhnliche Gangart der Säugethiere und der Amphibien. Die Beine schreiten hierbei in folgender Ordnung vorwärts: erst das eine Vorderbein, dann das diagonale Hinterbein, hierauf das andere Vorderbein und dann wieder das diesem diagonale Hinterbein. Der Hauptantrieb zum Vorwärtskommen geht hierbei von einem Hinterbeine aus, indem nämlich zwei diagonale Beine vorwärts gesetzt sind, schiebt, während das andere Vorderbein nach vorn gesetzt wird, das diesem diagonale Hinterbein, sich stemmend, nach vorn und folgt dann, ebenfalls vorwärtsschreitend. Die beiden zuerst gesetzten Beine dienten hierbei als Stützen, und nachdem nun das andere Paar im Vorwärtsschreiten begriffen ist, übernimmt das früher stützende Hinterbein die Function des Stemmens und Schiebens.

Paß ist der natürliche Gang der Giraffe, findet sich zuweilen bei jungen und schwachen Pferden, und wird auch älteren Pferden oft durch künstliche Behandlung beigebracht. Hier heben sich die Beine nicht diagonal, sondern auf derselben Seite, wodurch das Thier einen schwankenden Gang erhält, indem der Schwerpunkt stets nach der Seite der stützenden Beine geschoben werden muß.

Beim Trab, der den Säugethieren, aber auch den Salamandern gewohnten schnelleren Gangart, schreiten die diagonalen Beine gleichzeitig vorwärts, so daß nicht vier Momente, wie beim Schritte, zu unterscheiden sind, sondern nur zwei.

Galopp ist die schnelle Gangweise der Thiere mit Hinterbeinen, welche länger sind, als die Vorderbeine. Es hebt sich der Körper auf den Hinterbeinen und wird dadurch, daß sich diese stemmen, vorwärts geworfen; die Vorderbeine treten hierbei nach einander auf, entweder das rechte oder das linke zuerst, je nachdem der Galopp zur Rechten oder zur Linken erfolgt; der Hinterkörper springt hierauf vom Boden auf, und beide Hinterbeine werden gleichzeitig vorwärts gesetzt. Je länger die Hinterbeine sind, desto höher erhebt sich hierbei natürlich der Körper. Bei langsamer Bewegung auf ebener Erde ist die umgekehrte Gangweise den Nagethieren, z. B. den Kaninchen, eigenthümlich, indem sie zuerst mit den Vorderbeinen

vorwärtsschreiten, dann den Hinterkörper heben und hierauf die Hinterbeine gleichzeitig nachsetzen. Auch bei dem Frosche finden wir diese Art der Bewegung.

Beim Galopp forcé sind nur zwei Momente zu unterscheiden, während wir bei dem gewöhnlichen Galopp deren drei zählen, indem nicht nur die Hinter-, sondern auch die Vorderbeine gleichzeitig aufgesetzt werden.

Bei den sechsfüßigen Gliederthieren, den Insecten, zeigt sich bei den langsamer gehenden deutlich, daß jedesmal drei Beine gleichzeitig vor- und auftreten und zwar das vorderste und hinterste der einen Seite nebst dem mittleren der anderen Seite.

Bei den achtfüßigen Gliederthieren, den Spinnen, scheinen je vier Beine gleichzeitig aufzutreten und zwar so, daß die gehobenen und stützenden der Reihe nach abwechseln, also ein gehobenes zwischen zwei stützenden steht. Bei noch mehr Beinen ist es sehr schwierig die Gangweise zu erforschen.

In der Art des Auftretens zeigen sich wesentliche Unterschiede. Der Mensch tritt mit der ganzen Fußsohle auf, eben so die sogenannten Sohlenläufer unter den Säugethieren, z. B. der Bär, Igel, Dachs; bei anderen hebt sich die Fußwurzel, so daß sie den Boden nicht berührt, z. B. bei den Beutelthieren, und bei den Fingerläufern unter den Raubthieren, z. B. bei dem Hunde, der Katze, beobachten wir ein Auftreten nur mit den Zehen allein, so daß die Fußwurzel noch höher steht, ja bei den Hufthieren sehen wir ein Auftreten lediglich mit dem äußersten Zehengliede. — Die Vögel gehen durchweg auf den Zehen.

Nicht alle Thiere gehen gleich nach ihrem Eintritte in die Außenwelt; die Vögel unterscheidet man daher in Nestflüchter, z. B. die Hühner, Strauße, und Nesthocker, z. B. die Singvögel, Raubvögel. Eben so ist es bei den Säugethieren verschieden, indem z. B. die Hufthiere gleich nach der Geburt gehen, während dies bei anderen, z. B. den Nagethieren nicht der Fall ist.

Der Mechanismus des Gehens ist ein sehr zusammengesetzter und besteht aus der Aufeinanderfolge einer ganzen Reihe von Muskelcontractionen. Die Gebrüder Wilhelm und Eduard Weber haben über diesen Gegenstand ein klassisches Werk geliefert *), und auf dieses verweisend, zumal hier nicht der Ort sein dürfte, auf die anatomischen Verhältnisse einzugehen, werden wir uns darauf beschränken, die rein physikalischen Resultate wiederzugeben, zu denen dieselben gelangt sind. Da das in Rede stehende Werk nur auf die menschlichen Gehwerkzeuge Bezug nimmt, so bemerken wir nur noch, daß das Gehen, wenigstens der Vierfüßer — wohl im Allgemeinen auf denselben Principien beruhen dürfte, so daß die für den Gang des Menschen geltenden Gesetze als allgemein gültige angesehen werden können.

Daß es überhaupt gelungen ist, die für den Gang des Menschen gültigen physikalischen Gesetze aufzufinden, hat in der für alle gesunden Individuen in gleicher Weise sich zeigenden Regelmäßigkeit der beim Gehen stattfindenden Bewegung seinen Grund. Beide Beine wechseln in der Function den Rumpf zu tragen ab. Während das eine Bein dem Körper als Stütze dient, schiebt das andere, hinten stehende,

*) Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, eine anatomisch-physiologische Untersuchung ꝛc. Göttingen 1836; vergl. auch: Poggend. Ann. Bd. XL. S. 1.

stemmende den Körper vorwärts, macht eine pendelartige Bewegung nach vorn und dient nun als Stütze; das früher stützende Bein hebt sich jetzt hinten mit der Ferse, wirkt seiner Seits stemmend und schiebend und macht nun dieselbe Bewegung, wie vorher das andere. Es sind mithin beim Gehen zwei Momente zu unterscheiden: ein längerer Zeitraum, während dessen der Körper von dem einen Beine gestützt wird und das andere Bein seine Pendelbewegung macht, und ein kürzerer, während dessen beide Beine den Boden berühren. Nur bei schnellem Gehen wird der letztere Zeitraum so kurz, daß man sagen kann, das eine Bein hebe sich in demselben Augenblicke, in welchem das andere auftritt. Beim Laufen wird der Körper ganz entschieden stets nur von einem Beine gestützt. Daß die willenlos herabhängenden Arme beim Gehen eine dem diagonalen Beine entsprechende Bewegung machen, sei hier nebenbei bemerkt.

Durch Versuche mit einem von einem Leichname abgeschnittenen Beine, durch dessen Schenkelkopf eine Axe angebracht wurde, um welche das Bein wie ein Pendel schwingen konnte, erhielten die Gebrüder Weber im Vergleich mit dem Gange von Menschen mit eben so großen Beinen folgendes Resultat:

Beim schnellsten Gehen ist die Schrittdauer der halben Dauer einer Schwingung des nur von seiner Schwere getriebenen, als Pendel schwingenden Beines gleich, wo unter einer Schwingung die Bewegung verstanden wird, bei welcher ein Pendel seinen Schwingungsbogen einmal durchläuft. Es ist also so, als ob beim schnellsten Gehen das Bein, nachdem es beim Gehen hinten vom Fußboden aufgehoben ist, so lange es, ohne den Boden zu berühren, vom übrigen Körper fortgetragen wird, wie ein Pendel, blos von seiner Schwere getrieben, schwinge, und bei jedem Schritte, nachdem es eine halbe Schwingung gemacht hat, in dem nämlichen Augenblicke auf den Boden gesetzt werde, wo das andere (hintere) Bein, vom Boden gehoben, zu schwingen beginnt.

Ferner: Beim schnellsten Gehen ist die Schrittlänge halb so groß, wie die größte Spannweite beider Beine. Es ist also so, als ob bei jedem Schritte des schnellsten Gehens ein Augenblick käme, wo das hintere Bein möglichst nach hinten, gleichzeitig aber das vordere Bein nicht eben so möglichst weit nach vorn ausgestreckt wäre, sondern vielmehr in diesem Augenblicke gerade senkrecht stände.

Die Schenkelköpfe, von denen der obere Theil des Körpers getragen wird, bewegen sich auch beim schnellsten Gehen fast genau in horizontaler Bahn fort, und tragen den Rumpf fast immer in gleicher Höhe über dem Fußboden hin. — Die Schwankung beträgt in der Höhe nur etwa 32 Millimeter.

Legt man diese Thatsachen zu Grunde, so ergeben sich als Gesetze des Gehens folgende drei Gleichungen:

$$h^2 + p^2 = l^2$$

$$\tau - t = - \tau \cos \frac{t}{T} \pi$$

$$h \left(1 + \frac{\tau}{T} \pi\right)^2 = a \tau^2$$

wo l die Länge des gestreckten Beines bedeutet; T die Schwingungszeit des Beines als Pendel; a eine Constante, die von dem Verhältniß des Gewichtes der Beine zu dem des Rumpfes abhängt; p die Schrittlänge; τ die Schrittdauer; t denjenigen Theil der Schrittdauer, wo man auf einem Beine steht und h die Höhe, in welcher der Rumpf über dem Fußboden hingetragen wird.

Nimmt man T = 0,7 Sec.; l = 0,95 Met.; a = 34,65, so erhält man für die verschiedenen Gangarten folgende Tabelle:

τ	t	h	p
0,″350	0,″350	0,m642	0,m700
0,414	0,372	0,727	0,611
0,422	0,375	0,736	0,600
0,432	0,378	0,749	0,585
0,446	0,382	0,765	0,564
0,465	0,387	0,786	0,533
0,494	0,395	0,817	0,484
0,542	0,406	0,864	0,395

Je langsamer also der Gang ist, desto länger bleibt der Mensch auf einem Beine stehen, desto höher wird der Rumpf getragen, und desto kleiner ist die Schrittlänge.

Außerdem haben die Gebrüder Weber *) durch directe Versuche nachgewiesen, daß das Gewicht des Beines, wenn es am Rumpfe hängt, weder an den Muskeln oder Bändern hänge, noch auf dem Pfannenrande ruhe, sondern von dem Drucke der Luft, mit welchem dieselbe beide Gelenkflächen zusammenpreßt, getragen werde **). Zu dieser Aequilibrirung des Gewichtes eines Beines von 20 Pfund reicht, wie ebenfalls durch Versuche nachgewiesen wird, ein Druck von 24 Zoll Quecksilber hin. Kommt man also beim Besteigen hoher Berge in eine Region, in welcher das Quecksilber im Barometer unter 24 Zoll sinkt, so müssen die Muskeln des beim Gehen vom Boden aufgehobenen nach vorn schwingenden Beines so gespannt werden und bleiben, daß sie den fehlenden Luftdruck ersetzen. In Folge dieser ungewohnten, fortdauernden Spannung werden die Muskeln nicht allein ermüden, sondern es wird auch, weil diese Anspannung im Widerstreit steht mit der vom Beine auszuführenden Schwingung, eine Unannehmlichkeit und Unbequemlichkeit für den Gang selbst daraus hervorgehen, die sich in einer seltsamen Ermüdung kund giebt, welche alle diejenigen empfunden haben, welche derartige Bergbesteigungen ausführten, und die namentlich Alex. v. Humboldt bei seiner Besteigung des Chimborazo so auffällig gefühlt hat ***).

Bei dem Gehen biegt sich das schwingende Bein im Kniegelenk ein wenig ein,

*) Vergl. Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 466—469.
**) Poggend. Ann. a. a. O. S. 8.
***) Alex. v. Humboldt. Kleine Schriften. Stuttgart und Tübingen 1853. Bd. I. S. 147—150.

und so verkürzt kann es, ohne den Fußboden zu berühren, wenn es neben dem stützenden Beine vorbeigeht, seine Pendelschwingung ungehindert vollenden. Anders stellen sich die Verhältnisse, wenn dem natürlichen Beine ein Stelzfuß substituirt wird.

Der Weg, welchen beim aufrechten Gange der Schwerpunkt macht, weicht nur wenig von der geraden Linie ab, indem er ein wenig vertical und horizontal undulirt. Nehmen wir nun an, daß das linke Bein von Holz sei, und daß, während das rechte Bein vorangestellt ist und den Körper stützt, das Ende des Holzbeines, um vorwärts zu schreiten, in der größten Entfernung auf dem Boden aufsteht; so wird, damit dies steife Holzbein seine Schwingung ungehindert machen könne, der Körper sich entweder beträchtlich nach der anderen Seite zu neigen müssen, oder das Ende des Stelzfußes muß einen seitlich liegenden Bogen beschreiben. In beiden Fällen wird der Schwerpunkt aus seiner normalen Richtung, und zwar nach rechts hin, verlegt.

Nehmen wir ferner an, daß das Holzbein nunmehr vorwärts gestellt ist, und daß mithin das andere Bein seine Schwingung zu machen hat, so wird der Schwerpunkt eine Curve um das Ende des Holzbeines beschreiben müssen und zwar nach rechts hin.

Da dem Holzbeine alle Kraft behufs der Vorwärtsbewegung des Körpers mangelt, dasselbe namentlich keine vitale Extensionskraft besitzt, wie ein natürliches Bein; so ist eine Drehung der Wirbelsäule um ihre Längsaxe die nothwendige Folge und zwar so, daß die rechte Schulter vor die linke zu stehen kommt, sobald das linke Holzbein als Stütze dient.

Aus Weber's Untersuchung folgt, daß die Schrittlänge um so größer ist, je mehr sich der Schwerpunkt senkt, denn je niedriger der Rumpf getragen wird, desto niedriger wird auch der Schwerpunkt liegen. Da ein Holzbein sich nicht durch Einbiegen verkürzen kann, so ist auch die Senkung des Schwerpunktes nicht so möglich, wie bei einem natürlichen Beine; folglich wird durch einen Stelzfuß die Schrittlänge bedeutend verkürzt.

Von wie nachtheiligem Einflusse die durch einen Stelzfuß bedingten Abweichungen in der Bewegung von dem natürlichen Gange auf den menschlichen Körper sind, das hat am trefflichsten John Bishop dargelegt *).

Ueber die Schnelligkeit des menschlichen Ganges giebt Quetelet **) folgende Thatsachen nach Dupin:

Ein Fußgänger kann bei einem längeren Marsche in der Stunde 6 Kilometer weit kommen, d. h. in 1 Minute 100 Meter (etwa 319 Fuß). Die Länge des Reiseschrittes schätzt man zu 8 Decimeter; somit macht der Fußgänger in 1 Minute 125 Schritte und in 1 Stunde 7500. So kann er täglich $8^1/_2$ Stunden marschiren und die Reise so lange fortsetzen, als er will, ohne daß seine Kräfte abnähmen oder seine Gesundheit Schaden litte. Er kann also täglich 51 Kilometer (etwa $6^1/_2$ Meile) zurücklegen. H. E.

*) John Bishop's Untersuchungen über das Wesen und die Behandlung der Deformitäten des menschlichen Körpers. Aus dem Englischen übersetzt von Dr. Bauer. Stettin 1853. S. 67.

**) Ueber den Menschen und die Entwickelung seiner Fähigkeiten, deutsch von Riecke. Stuttgart 1838. S. 398.

Gehör, s. Hören.

Geiser, s. Quelle.

Geneigte Ebene, s. Ebene.

Geognosie (v. d. griech. γῆ, Erde und γνῶσις, Kenntniß) ist die Lehre von den Form- und Lagerungsverhältnissen der Gebirgsarten auf der Erde, oder — mit anderen Worten — sie untersucht die feste Rinde der Erde nach ihrer jetzigen Beschaffenheit, nach den Felsmassen, aus denen sie zusammengesetzt ist, und mit Rücksicht auf die gegenseitigen, aus der Lagerungsfolge entnommenen Altersbeziehungen der Gesteine. Ueber das Nähere s. Art. Geologie. H. E.

Geogonie (v. d. griech. γῆ, Erde, und γονεία, Erzeugung) ist die Lehre von der Entstehung der Erde. S. Art. Geologie. H. E.

Geographie (γέα, Erde, γράφω, beschreiben), Erdbeschreibung oder Erdkunde zerfällt je nach der Art und Weise, wie man in ihr die Erde betrachtet, in verschiedene Haupttheile.

Die mathematische Geographie, ein Theil der Astronomie, betrachtet die Größe, Gestalt, Lage und Bewegung der Erde, überhaupt ihr Verhältniß zu anderen Weltkörpern (s. Art. Erde).

Die physikalische Geographie faßt die Erde als ein Ganzes auf, sucht zunächst dessen natürliche Beschaffenheit möglichst genau zu erforschen und dann die Erscheinungen, welche der Erdkörper als solcher darbietet, auf bekannte physikalische Gesetze zurückzuführen. Sie ist eine Anwendung der physikalischen Theorien auf die Naturgeschichte der Erde, indem sie den Ursprung, die Entwickelung und Fortbildung des Erdkörpers auf Grund klar erkannter physikalischer Principien so weit als thunlich darzustellen sucht. Besondere Theile der physikalischen Geographie sind die Geognosie, Geologie, Hydrologie und Meteorologie (s. diese Artikel). Vorbereitend ist die Chorographie, oder die beschreibende Geographie nach Naturgrenzen, welche die Oberfläche der Erde nach Wasser und Land, Gebirgen (s. Berg) und Ebenen 2c. kennen lehrt. Ergänzend treten noch hinzu die botanische und zoologische Geographie oder die Darstellung von der räumlichen (geographischen) Verbreitung der Pflanzen und Thiere.

Die politische Geographie betrachtet die Erde als Wohnplatz des Menschen und als Schauplatz seiner Thätigkeit, die Gruppirung der Menschen zu größeren und kleineren gesellschaftlichen Vereinen, die Eintheilung der Erde in Erdtheile, Länder und Staaten, und alle diejenigen Einrichtungen der Erde, die durch die Thätigkeit des Menschen hervorgebracht sind. Betrachtet die politische Geographie den Charakter der Völker und deren gesellige Verhältnisse als abhängig von klimatischen und sonstigen Naturverhältnissen, so dient ihr die physikalische Geographie als Hülfswissenschaft.

Die Geographie theilt man auch in Universal- und Special-Geographie, je nachdem dieselbe die ganze Erde oder nur einen einzelnen Theil derselben zur Darstellung bringt.

Geologie (v. d. griech. γῆ, Erde und λόγος, Lehre) ist die Lehre von den Veränderungen, welche die Erde von der Schöpfungsperiode bis auf die jetzige Zeit erfahren hat und noch erfährt.

Will man über die Bildung des Erdkörpers zu einem richtigen Urtheile gelangen, so ist es zunächst erforderlich, sich mit allen Thatsachen bekannt zu machen,

welche im Laufe der Jahrhunderte erforscht und gesammelt sind. Es verhält sich hier wie in der Astronomie, vergl. Bd. I. Art. Astronomie S. 377 und 378. Dieser eigentlich descriptive Theil der Geologie ist von der Werner'schen Schule als ein abgesonderter Theil der Geologie behandelt und mit dem besonderen Namen Geognosie bezeichnet worden; es leuchtet aber ein, daß die Geognosie eben so eng mit der gesammten Geologie verbunden ist, wie die Astrognosie mit der gesammten Astronomie. An diesen ersten Theil, die descriptive Geologie, wird man dann als zweiten die Beantwortung der Frage anknüpfen können, welche Vorgänge haben stattfinden müssen, um die in dem descriptiven Theile festgestellten thatsächlichen Verhältnisse herbeizuführen. Der Gegenstand dieses erklärenden Theiles wird gewöhnlich als die eigentliche Geologie bezeichnet, wir möchten denselben lieber dynamische Geologie nennen. Die Frage nach der Schöpfung der Erde überhaupt, die Geogonie, bildet den Schluß.

A. Descriptive Geologie.

Es kann hier nicht die Absicht sein, einen vollständigen Bericht von den zahlreichen Thatsachen, welche bei Beurtheilung der Bildung des Erdkörpers als von Einfluß erscheinen, im Zusammenhange zu geben, da viele von ihnen, dem Charakter dieses Werkes gemäß, in besonderen Artikeln ausführliche Bearbeitung haben erhalten müssen. Es betrifft dies namentlich die äußeren Verhältnisse des Erdkörpers. Auf diese Artikel hinzuweisen, erscheint indessen nothwendig, und wir thun dies daher gleich an dieser Stelle in einer Anmerkung *).

Von besonderer Wichtigkeit ist die Erforschung der festen Erdrinde. Ueber dieselbe erhalten wir Aufschluß durch Beobachtung von Stellen, an welchen das Innere derselben aufgedeckt ist, sei es durch die Natur selbst oder durch Kunst. Tiefe Thäler und steile Bergschluchten bieten solche Stellen dar; die Verheerungen des Wassers veranlassen natürliche Entblößungen und Wasserrisse, z. B. durch Wolkenbrüche, die steilen Ufer von Flüssen und die Küsten der Meere verdienen daher die Beachtung des Geognosten; Berg- oder Felsenstürze, eben so Erdfälle oder Bergschliffe eröffnen oft einen bedeutungsvollen Blick in das Innere. Nicht minder wichtige Aufschlüsse hat man den künstlichen Entblößungen zu danken, von denen eine Erwähnung verdienen die Erdarbeiten beim Graben von Brunnen und

*) Die Erde ist ein kugelförmiger Körper (Art. Erde Bd. II. S. 868—873), jedoch keine vollkommene Kugel, sondern in Folge der Rotation wegen des ursprünglich flüssigen Zustandes an den Polen abgeplattet (ebenda S. 875—890). Ueber die Größenverhältnisse der Erde vergl. a. a. O. S. 892, über ihre planetarische Stellung in unserem Sonnensysteme S. 900, über ihre zweifache Bewegung, um ihre Axe und um die Sonne S. 901 bis 907. Die Untersuchungen über die Abplattung haben entschieden ergeben, daß die Erde nicht durchgängig von gleicher Dichtigkeit sein könne, S. 890 u. 891; über die Bestimmung der mittleren Dichtigkeit vergl. S. 907—912; wegen der Tiefe, bis zu welcher man in die Erdrinde eingedrungen ist S. 912 und 913; wegen der Temperatur der Erdrinde S. 914 bis 922; wegen der Temperatur des Meeres S. 922—926; wegen der die Erde umgebenden Dunsthülle vergl. Art. Atmosphäre Bd. I. S. 452—560; wegen der Unebenheiten der Erdoberfläche Art. Berg Bd. I. S. 763—803. Eben so sind die Artikel: Eis, Erdbeben, Klima, Isothermen, Magnetismus der Erde, Quelle, Vulkan u. a. reich an hierher gehörigem Materiale.

Kellern, bei der Anlage von Kanälen und Straßen, besonders aber die Arbeiten in Steinbrüchen und Bergwerken, und die in neuerer Zeit so häufig ausgeführten Anlagen von Tunneln und die Bohrarbeiten bei artesischen Brunnen (s. Artikel Quelle). Wie lehrreich namentlich die letzten Arbeiten sind, davon giebt v. Leonhard in seinem Lehrbuche der Geognosie und Geologie, Stuttgart 1835. S. 17 ein interessantes Beispiel *).

---

*) Bei Stotternheim im Weimarischen wurde eine Bohrarbeit bis zu einer Tiefe von 1190 Fuß verführt und waren hierbei folgende Gesteinschichten vom Tage niedergesunken:

	Fuß	Zoll
Bunter Mergel, Gyps und Sandstein der Keuperformation in vielfacher Abwechselung	257	
Grauer, auch röthlichweißer Gyps mit Gypsspath, zuweilen auch rother Thon und milder, röthlich gefärbter Sandstein . . .	22	8
Gyps mit schwarzem verhärtetem Thone, sodann weißer Gyps mit etwas kalkigem Mergel	30	3
Gyps, mit rothem und blauem etwas gesalzenem Thone . . .	34	5
(Bis hierher zeigte die Soole einen Gehalt von 3 bis $5^1/_2$ Proc., war jedoch sehr mit Bittersalz verunreinigt.)		
Gyps, mehr rein, theils schwarz, mit Gypsspath	26	5
Blauer und rother Thon, stark gesalzen, Gyps mit Gypsspath, blauer Thon, ebenfalls sehr salzhaltig	33	7
Fester Gyps	3	6
Roth und blau gefärbter Thon mit Gyps; rother Thon mit eingemengten Salzkörnchen, weißer Gyps mit blauem Thone (alle Lagen sehr oft mit einander wechselnd und mehr oder weniger salzhaltig)	40	9
(Nun hatte die Soole nach und nach 6 Proc. erreicht.)		
Mehr fester Gyps, zuweilen in ziemlich mächtigen Schichten ohne Thon, sodann aber auch wieder mit rothem und blauem Thon wechselnd	38	8
(Die Soole hatte sich, selbst im festen reinen Gyps, bis zu 9, 10 u. 12 Proc. gebessert. Bei 460 Fuß Tiefe zeigte sich im Gyps etwas weniges eingemengtes Steinsalz.)		
Gyps mit blauem und grauem Salzthon; der Gyps zuweilen ausnehmend fest und Anhydrit-artig	31	9
(Die Soole hatte bis 13, 14, 15 Proc. zugenommen. In den untersten Lagen festen Gypses fand man dieselbe sogar einmal 18 Proc.).		
Höchst fester Anhydrit	2	8
(Die Soole war einmal bis zu $19^1/_2$ Proc. gestiegen; aber nur in geringer Menge, vermuthlich blos aus kleinen Klüften.)		
Blauer Salzthon mit Gyps; Gyps mit Thon; weißer Gyps; einige Lagen schwarzen gesalzenen Thons; Alles vielfach wechselnd	57	—
Im höchsten Grade fester Anhydrit, so daß die Bohrarbeit nicht ohne Schwierigkeit fortgesetzt werden konnte	—	$8^1/_2$
Gyps mit blauem Salzthon	4	$^1/_2$
Rother Thon	6	9
(In diesem war die Soole mehrmals 20 — 21 Proc. haltig aus dem Bohrloche gebracht worden.)		
	590	2

Aus den zahlreichen Beobachtungen ergiebt sich, daß die Erdrinde, in welche man freilich (vergl. Bd. II. S. 912 und 913) nur bis zu einer Tiefe von nicht

	Fuß	Zoll
Uebertrag	590	2
Blauer Salzthon mit Gyps; der Gyps, jedoch vorherrschend, auch mehrere kleine Anhydrit-Lagen einschließend	17	7
Höchst fester Anhydrit	—	3½
Gyps; Gyps mit Thon; blauer Thon mit Gyps, stark gesalzen (die Soole hielt darin 22 Proc.); Gyps mit etwas Thon; schwärzlicher Mergel, kalkhaltig, und einige Lagen wirklichen Muschelkalkes	11	½
(Es blieb nun kein Zweifel, daß die Oberfläche der Muschelkalk-Formation erreicht, das Keuper-Gebilde aber durchbrochen sei. Wiederholt unternommene Versuche mit der Soolen-Pumpe ergaben, daß die Soole, welche öfter bis 22 u. 24 Proc. stieg, nicht in zureichender Menge vorhanden sei, um die Anlage einer größeren Saline zu gestatten; dies bestimmte zum Entschlusse, auch die obere Abtheilung der Muschelkalk-Formation zu durchbohren und das unter dieser liegende Steinsalz aufzusuchen.)		
Grauer Kalkstein mit Zwischenlagen von Mergelschiefer, hin und wieder auch Nester festen Hornsteins	11	3
Fester rauchgrauer Kalk mit einigen Hornsteinlagen	73	3
Desgleichen, etwas weniger hart, auch mit seltenen Hornsteinlagen und Nieren	60	5
Kalkstein, mit grauen oder blauen Thonlagen wechselnd, zuweilen auch mit Lagen schieferigen Mergels	50	1
Lichtgrauer, meist sehr fester Kalk	26	8
Dergleichen, mit Thonlagen wechselnd	53	—
Fester Kalk mit Stielgliedern von Encrinites liliiformis (Trochiten-Kalk) und anderen unerkennbaren Versteinerungen . . .	36	11
Fester schwärzlicher Kalk	8	10
Lichtgrauer Kalk mit Enkriniten	5	6
Dergleichen mit weißen und grauen Mergeln, selten mit Quarz- und Hornstein-Nestern und Nieren	24	9
Weißer kalkiger Mergel	4	3
Grauer Kalkstein	7	6
Schwärzlichgrauer mergeliger Kalkstein	4	1
Weißer und grauer Kalk-Mergel mit höchst festen Hornstein-Nestern und Nieren	13	11
(Mit 999 Fuß wurde Gyps angebohrt.)		
Grauer Kalk-Mergel mit Gyps	7	11
Dunkelgrüner Gyps	10	2
Weißer Kalk-Mergel mit Gyps, zuweilen etwas bituminös . . .	10	1
Schwärzlicher, sehr fester Gyps	6	4
Dunkel- und lichtegrauer Mergel	6	6
Schwärzlicher Gyps	14	6
Fester weißer Gyps	2	5
Fester grauer Gyps, zuweilen mit etwas blauem Salzthone	13	5
Grauer und blaulicher (Anhydrit-artiger) Gyps	2	8
Grauer Gyps-Mergel mit etwas grünem Gyps	8	6
Weißer und grauer fester Gyps	16	—
	1098	2

viel mehr als 2000', also von noch nicht $^1/_{11}$ Meile unter dem Niveau des Meeres, eingedrungen ist, zum größten Theile aus festem Gesteine besteht. Die losen Massen machen bei weitem den geringeren Theil aus und sind in einzelnen Anhäufungen abgelagert.

In geognostischer Beziehung zerfallen die verschiedenartigen Mineralverbindungen der Erdrinde in:

1) krystallinisch-massige, plutonische Gesteine,

2) krystallinisch-schieferige, metamorphische Gesteine und

3) erdig-schieferige, neptunische Gesteine.

Welches die wichtigeren Gebirgsarten sind, und wie dieselben sich in diese drei Gruppen vertheilen, darüber vergl. Art. Berg Bd. I. S. 782—786.

Die Bestandtheile dieser Gesteine bestehen vorherrschend aus Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff, Silicium, Kalcium, Magnium, Aluminium, Natrium, Kalium, Eisen und Schwefel; aus diesen Stoffen ist mithin auch vorherrschend die feste Erdrinde zusammengesetzt.

Durch die oben angedeuteten natürlichen und künstlichen Entblößungen der Erdrinde hat man Einsicht gewonnen nicht nur über die Mächtigkeit der einzelnen Massen, sondern auch über die Reihenfolge derselben. Es ist dies für die Geognosie ein besonders wichtiger Punkt; wir können uns hier aber eines tieferen Eingehens überheben, da Art. Berg Bd. I. S. 796 u. 797 das Erforderliche bereits enthält. Es steht diese Reihenfolge so fest, daß man aus den geognostischen Verhältnissen der Oberfläche mit Sicherheit bis zu einer mäßigen Tiefe die Lagerungsverhältnisse der verschiedenen Gesteinmassen beurtheilen kann, und obgleich diese

---

	Fuß	Zoll
Uebertrag	1098	2
Dergleichen etwas mergelig	3	7
Grauer Mergel	2	3
Weißer Gyps, stark salzhaltig	4	—
Grauer Mergel und dunkelgrüner Gyps ohne Salzgehalt	5	10
Lichtgrauer und weißer Gyps, ohne Salzgehalt	8	—
Grauer, fester (Anhydrit-artiger) Gyps, ohne Salzgehalt	2	6
Dergleichen, mit geringem Salzgehalt	—	11
Gyps und Mergel, abwechselnd, ohne Salzgehalt	3	5
Graulichweißer Kalk-Mergel	3	—
Gelblich- und blaulichgrauer Kalk-Mergel, mit Zwischenlagen stark gesalzenen grauen Thones	17	1
Mergel und Gyps, stark salzhaltig	4	8
Grauer Mergel und Salzthon, ohne Gyps	1	4
Grauer Gyps mit sehr salzreichem Thon (Die Soole hatte 26 Proc.)	6	10
Sehr fester Gyps (die Decke des Steinsalz-Gebirges)	—	7
Grauer Gyps, mit sehr salzreichem, lichtgrauem Thon, auch mit Adern weißen von Steinsalz-Nestern durchzogenen Gypses	7	10
Grauer Gyps, mit etwas Steinsalz und sehr viel Salz enthaltendem Thone	3	—
Reines Steinsalz, welches bei 17' 2" nicht durchsunken war	17	2
Gesammt-Teufe	1190	2

Reihenfolge zunächst nur in Europa beobachtet ist, kann man sie doch als für die ganze Erdoberfläche gültig ansehen.

Diese Massen bilden jedoch nicht concentrische Schalen, wie schon aus den Unebenheiten der Erdoberfläche sich ergiebt. Wir verweisen hier abermals auf den Art. Berg S. 797: „Hebung der Gebirgsketten"; ferner machen wir noch auf die Durchschnittskarten aufmerksam, von welchen die beste die von Thomas Webster sein dürfte *).

Eine Vorstellung einer solchen Karte giebt der umstehende: „Ideale Querschnitt eines Theiles der festen Erdkruste" von B. Cotta **).

Außerdem sind die Gesteinmassen vielfach zerklüftet. Man nennt diese Spalten, welche die Gebirgsschichten durchschneiden, Gänge. Ihre Breite (Mächtigkeit) ist sehr gering im Vergleich zu ihrer Länge und Tiefe; sie beträgt oft nur einige Zoll, an anderen Stellen wächst sie zu mehreren Lachtern an, während die Länge, das Niedergehen, so bedeutend ist, daß das wahre untere Ende, das Tiefste des Ganges vielleicht in keinem Falle bis jetzt erreicht worden ist. Die Richtung der Gänge kommt meist der lothrechten (seigern) ziemlich nahe, doch trifft man sie auch flach und schwebend. Haben die Gänge einigen Fall, so denkt man sich das Gebirgsgestein durch sie in Hangendes und Liegendes getheilt und die Begrenzungsflächen nennt man Sahlbänder. In den älteren Gebirgen sind die Gänge häufiger, als in den jüngeren, und wenn ein Gang auch oft verschiedene Gebirgsmassen durchschneidet, so geschieht dies doch nicht leicht mit verschiedenen Gebirgsformationen. Bisweilen erstrecken sich die Gänge bis zur Erdoberfläche und dann nennt man den am Tage sichtbaren Theil ihr Ausgehendes oder das Ausbeißen der Gänge.

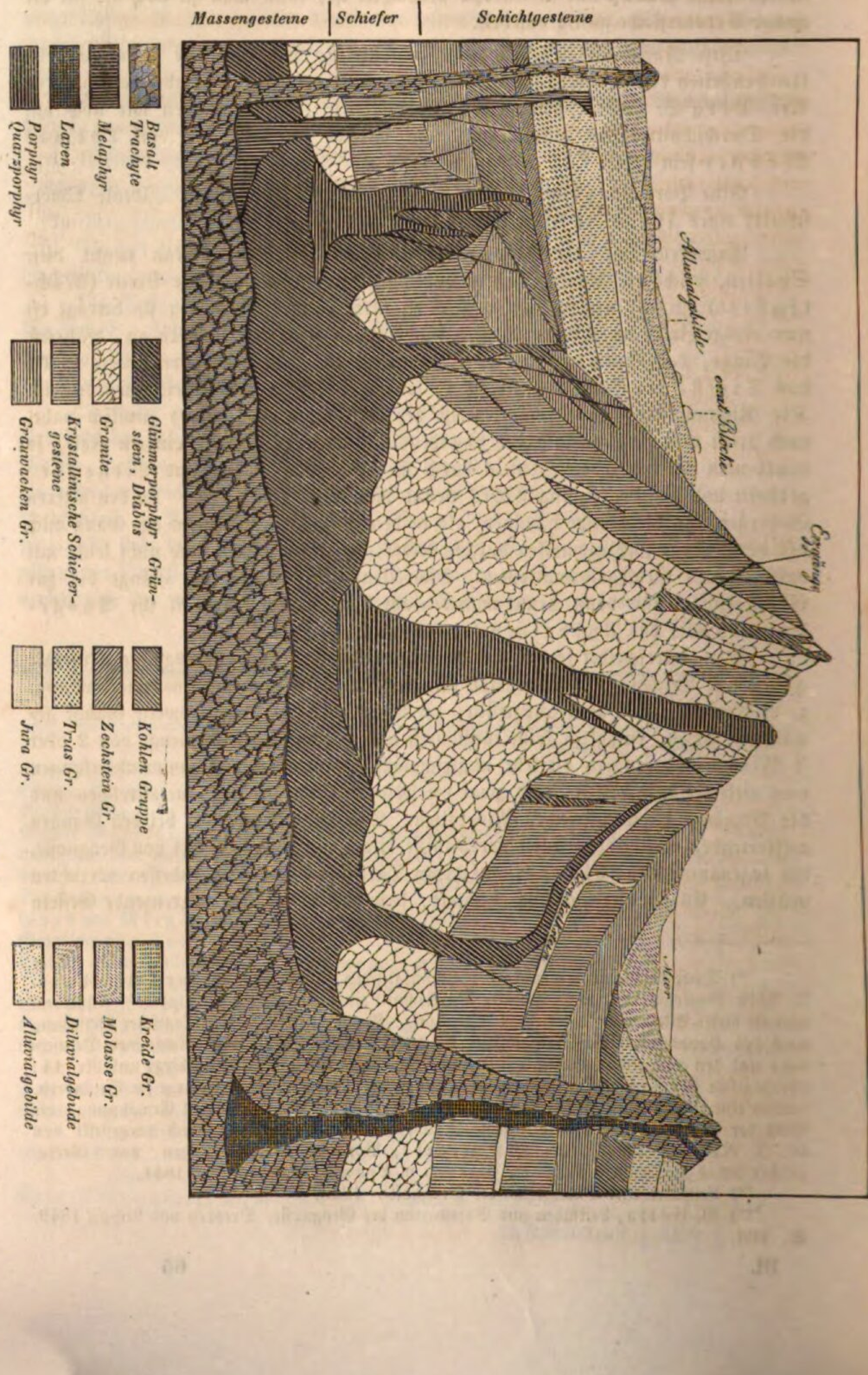
Man unterscheidet je nach der Ausfüllungsmasse ***) Gesteinsgänge, Mineralgänge und Erzgänge. Die ersteren sind mit einer constanten Mineralverbindung, z. B. Granit oder Basalt ausgefüllt, die letzteren beiden, vorzugsweise Gänge genannten Arten, enthalten keine constanten und gleichmäßigen Gemenge von 2 oder 3 Mineralien, sondern oft sehr ungleichmäßige, inconstante Zusammenhäufungen von vielerlei Mineralien, und zwar die Mineralgänge die nicht metallreichen und die Erzgänge die metallreichen Mineralien. Die Entwickelung der bei den Gängen auftretenden verschiedenartigen Verhältnisse bildet eine besondere Art von Geognosie, die sogenannte Ganglehre, auf deren Darlegung wir hier indessen verzichten müssen. Es sei hier nur noch bemerkt, daß das die Gänge begrenzende Gestein

---

*) Diese Karte finden wir im: Physikalischen Atlas von Heinr Berghaus. 3. Abth. Geologie. Nr. 11: „Idealer Durchschnitt eines Theiles der Erdrinde." Außerdem enthält dieser Atlas noch in derselben Abtheilung: Nr. 4: Europa in geologischer Beziehung nach den Hauptmassen der Gebirgs-Formationen; Nr. 12: Geologische Karte von Deutschland und den anliegenden Ländern; Nr. 13: Special-Karte vom Riesengebirge und Nr. 14: Geologische Profile von Deutschland im Allgemeinen und vom Riesengebirge im Besondern, sammt einer Karte vom Tertiär-Becken von Paris. — Außerdem verdient Erwähnung: der Bau der Erdrinde nach dem heutigen Standpunkte der Geognosie bildlich dargestellt von Dr. J. Nöggerath und Dr. J. Burkardt, Bonn bei Henry u. Cohen, und: Geologischer Atlas zur Naturgeschichte der Erde von v. Leonhard. Stuttgart 1841.

**) Leitfaden und Vademecum der Geognosie. 1849.

***) B. Cotta, Leitfaden und Vademecum der Geognosie. Dresden und Leipzig 1849. S. 103.



Idealer Querdurchschnitt eines Theiles der festen Erdkruste.

in der Regel etwas verändert ist, sehr zerklüftet, aufgelöst oder es enthält Theile von den Erzen, welche der Gang führt, eingesprengt, erscheint auch damit mehr oder weniger imprägnirt.

Diese Gangausfüllungen sind für die Beurtheilung der Kräfte, welche bei der Bildung und Umwandlung der Erdrinde thätig gewesen sind oder noch sind, besonders der Beachtung werth, und deshalb müssen wir auch noch einer in den Gängen auftretenden Erscheinung erwähnen, nämlich der Drusenräume. Es beschreibt diese v. Leonhard *) als Höhlungen, innerhalb der Gangmasse befindlich, mehr oder weniger groß, und von verschiedener, ellipsoidischer oder ganz ungeregelter Gestalt, nach Außen häufig wellenförmig begrenzt, im Innern theilweise oder ganz angefüllt mit Mineralien, auch nur auf den Wandungen überkleidet mit Krystallen, deren Axen meist gegen einander gekehrt sind. Bei schmalen Gängen liegen die Drusen größtentheils in der Mitte, nur bei mächtigen finden sie sich zuweilen mehr nach einem Sahlbande hin, als nach dem anderen. Die Hauptdurchschnitts-Ebene dieser Weitungen ist in der Regel den Sahlbändern parallel.

Zu den bisher angeführten unorganischen Erscheinungen treten noch die für den Geologen besonders wichtigen Versteinerungen oder Petrefacten. Es sind dies Ueberreste oder Spuren organischer Geschöpfe, welche von mineralischen Stoffen mehr oder weniger durchdrungen und dadurch in mehr oder weniger steinartige Massen übergegangen sind, ohne daß die Kennzeichen des Ursprungs dieser Körper verwischt wären. Wir folgen hier Cotta's Darstellung **).

Man unterscheidet: nicht oder nur wenig veränderte, von Gestein umschlossene, mit Erhaltung der organischen Textur in Stein verwandelte organische Körper, so wie Abdrücke und Steinkerne von organischen Körpern. Sie rühren von Organismen her, die in früheren Perioden die Erde bevölkert haben, und zwar größtentheils von Pflanzen- und Thierarten, die jetzt nicht mehr lebend existiren, d. h. deren Arten ausgestorben sind. Viele weichen sogar sehr wesentlich von allen lebenden organischen Formen ab und lassen sich kaum noch in die natürlichen Familien der jetzigen Pflanzen und Thiere einreihen. Man findet selten vollständige Individuen im fossilen Zustande, in der Regel vielmehr nur die festeren Theile der Thiere und Pflanzen, z. B. Blätter und Rindenabdrücke, Zapfen, Korallen, Muschelschalen, Fischschuppen und Gräten, Knochen und Zähne. Aus diesen einzelnen Theilen hat man aber versucht, durch Vergleichung ganze Individuen zu construiren.

Wenn auch die meisten versteinerten Pflanzen und Thiere nicht genau mit lebenden Arten übereinstimmen, so lassen sich dennoch aus ihrer Organisation durch Vergleichung sehr sichere Schlüsse ziehen über die klimatischen Verhältnisse, unter denen sie gelebt haben müssen. Man kann die Bewohner des Landes und der Flüsse von denen des Meeres unterscheiden und erkennen, ob dieselben eines warmen Klimas bedurften oder nicht. Wenn man nun in dieser Rücksicht die Fundorte der Versteinerungen prüft, so ergiebt sich, daß Ueberreste von Meeresbewohnern fast überall auf dem Lande und selbst in hohen Gebirgen bis 16000 Fuß über dem Meeresspiegel gefunden werden ***). Es ergiebt sich ferner, daß Landpflanzen-

*) Lehrbuch der Geognosie und Geologie. 1835. S. 773.
**) A. a. O. S. 22.
***) v. Humboldt, Kosmos. Bd. I. S. 26.

reste mehrere 100 Fuß tief unter dem Meeresspiegel liegen und daß in der Nähe der Pole fossile Organismen vorkommen, welche auf ein tropisches Klima schließen lassen.

Versteinerungen kommen keineswegs in allen Gesteinen vor. Am häufigsten findet man sie in Kalksteinen, Mergeln, Thon, Schieferthon und Sandstein. In diesen Formationen sind die Versteinerungen auf sehr große Erstreckung hin ganz dieselben, während jede Formation andere enthält. Nachdem man dies erkannt hatte, sind die Versteinerungen das wichtigste Hülfsmittel zur Bestimmung der Formationen geworden. Unter den Versteinerungen einer Formation finden sich meistentheils einige, welche als besonders weit verbreitet häufig und leicht erkennbar die Bestimmung vorzugsweise erleichtern. Diese hat L. v. Buch zuerst Leitmuscheln genannt, obwohl es nicht gerade immer Muscheln sind. Selbst Fisch- oder Reptilienreste werden als solche leitende Versteinerungen benutzt.

Das Gesetzmäßige des Auftretens der organischen Ueberreste in den einzelnen über einander liegenden Formationen ist in vieler Beziehung höchst lehrreich. Nur in den neuesten Ablagerungen treten noch lebende Formen im fossilen Zustande auf. Wenn wir von da aus die organischen Ueberreste in immer tiefere, also ältere Formationen hinab verfolgen, so ergiebt sich:

1) daß die höheren Organismen sowohl des Thier- als Pflanzenreiches immer mehr und mehr verschwinden, indem man in den untersten Schichten nur noch Reste von wirbellosen Thieren und kryptogamischen Pflanzen findet,

2) daß die einzelnen Formen von den jetzt lebenden immer mehr abweichen, indem in den untersten Schichten mehrere ganz neue Familien vorkommen, und

3) daß die Spuren klimatischer Verschiedenheit immer mehr und mehr verschwinden.

Wir lassen nun noch eine Uebersicht der Leitmuscheln folgen:

Untere Grauwacke: Fucus antiquus, Obolus.

Mittlere Grauwacke: Calamopora Gothlandica u. polymorpha, Graptholithes, Halysites catenulatus, Spirifer speciosus, Delthyris, Orthis, Strophomena, Lituites, Orthoceratites (Vaginati), Trinucleus, Paradoxites Tesseni, Olneus, Calymene Blumenbachi, Homalonotus Knighti.

Obere Grauwacke: Calamopora spongites, Cupressocrinus, Calceola sandalina, Posidonomya Becheri, Euomphalus annulatus, Goniatites, Clymenia, Orthoceratites (Regulares).

Kohlenkalkstein: Crinoideen, Spirifer, Productus giganteus u. carbonarius, Pecten grandaevus, Bellerophon cornu arietis, Euomphalus, Murchisonia.

Kohlenformation: Calamites, Asterophyllites, Sphenophyllum, Annularia, Sphenopteris, Pecopteris, Neuropteris, Stigmaria ficoides, Sigillaria, Lepidodendron, Sagenaria, Unio carbonarius.

Rothliegendes: Calamitea, Medullosa, Psaronius, Tubicaulis.

Zechstein: Gorgonia antiqua, Terebratula Schlotheimi, Productus horridus, Palaeoniscus Freieslebeni.

Bunter Sandstein: Voltzia, Myophoria Goldfussii, Thierfährten.

Muschelkalk: Encrinites liliiformis, Spirifer fragilis, Pecten discites, Lima lineata u. striata, Gervilia (Avicula) socialis, Myophora vulgaris, Melania Schlotheimi, Ceratites nodosus, Nautilus bidorsatus, Rhyncholithen.

Keuper: Calamites arenaceus, Equisetites, Posidonomina minuta, Myophoria Goldfussii.

Lias: Pentacrinus Briareus, Monotis, Lyriodon clavellata, Ammonites costatus u. Amaltheus, Belemnites digitalis u. paxillosus, Ichthyosaurier.

Jura: Astraea, Meandrina, Apiocrinus, Millerocrinus, Lyriodon navis u. costata, Ostrea Marshii, Gryphaea dilatata, Ammonites polyplocus, Belemnites semisulcatus u. canaliculatus, Aptychus.

Wielden u. Neocomien: Sphenopteris Mantelli, Endogenites erosa, Paludina fluviorum, Cypris Valdensis, Monopleura, Ancyloceras, Toxoceras.

Quader: Micraster cor anguinum, Ostrea carinata, Exogyra columba, Spondylus spinosus, Pecten quinquecostatus, Inoceramus mytiloides, Scaphites aequalis, Hamites, Belemnites minimus, Serpula gordialis.

Kreide: Galerites albogalerus u. vulgaris, Ananchytes ovata, Hippurites, Gryphea vesicularis, Pecten Beaveri, Inoceramus Lamarcki, Scaphites aequalis, Hamites, Turrilites, Belemnites mucronatus.

Eocen †: Nummulites lenticularis, Scutellina, Cerithium.

Meiocen †: Acerites tricuspidatus, Terebratula grandis, Dreisena, Dinotherium giganteum.

Pleiocen †: Trochus infundibulum, Cypris faba, Leuciscus papyraceus.

Diluvium: Elephas primigenius, Rhinoceros angustidens, Ursus spelaeus.

In literarischer Beziehung erwähnen wir nur:

Handbuch einer Geschichte der Natur von Bronn, Stuttgart I. 1841; II. 1843; III. a. 1848; III. b. 1849, wo sich in III. a. S. XXII. — LVII. ein sehr vollständiger literarischer Nachweis findet.

B. Dynamische Geologie.

Lassen wir jetzt dahingestellt, woher der Stoff gekommen sei, aus welchem die Erde gebildet wurde, so viel steht durch die Abplattung fest, daß dieselbe zu irgend einer Zeit im flüssigen Zustande sich befunden haben muß. Die Frage könnte nun die sein, ob dieser Zustand durch Wärme oder durch die auflösende Kraft einer Flüssigkeit, also des Wassers, da dieses auf der Erde vorherrschend ist, bedingt gewesen sei. Gegen das Letztere spricht erstens, daß die Bestandtheile der

---

†) Diese Bezeichnungen für die sonst sogenannten tertiären Formationen rühren von Lyell her, und sind abgeleitet von den griech. πλεῖον, mehr, μεῖον, weniger, ἠώς, die Morgenröthe oder das Tagen, und καινός, neu, wodurch er andeuten wollte, daß sie eine größere, oder eine kleinere, oder nur eine sehr geringe Anzahl von neueren, d. h. noch jetzt lebend angetroffenen Muscheln enthalten; vergl. Lyell, Geolog. Bd. III. S. 392. Nach Ehrenberg (Abhandl. der Berliner Akad. aus dem Jahre 1839. S. 164) reicht aber die Morgendämmerung der mit uns lebenden Natur viel tiefer in die Geschichte der Erde, als man bisher geglaubt hatte.

Mineralien nicht alle in (reinem) Wasser löslich sind, und daß da, wo es geschieht, eine bedeutende Menge desselben erforderlich ist, zweitens ergiebt sich das auf und in der Erde befindliche Wasserquantum bei weitem nicht ausreichend, um die Auflösung zu bewirken, und hätte dennoch ein derartiger Proceß stattgefunden, so würde die neue nicht beantwortbare Frage zu stellen sein, wo das Wasser hingekommen sei, welches zur Auflösung verwendet war. Für die zweite Vermuthung hingegen spricht die Wärmezunahme beim Eindringen in das Erdinnere, die Structur der Gesteinmassen, welche sich als die tiefstgelegenen ergeben, und die Verhältnisse, welche wir bei den noch thätigen Vulkanen finden *).

Von der Voraussetzung eines feurigflüssigen Zustandes aus wollen wir zunächst eine Skizze zu entwerfen suchen von den Veränderungen, welche der Erdkörper hat erleiden müssen, um seine gegenwärtige Gestaltung zu gewinnen.

War die Erdmasse in feurigflüssigem Zustande, so konnte sie die ihrer Größe und ihrer Rotationsgeschwindigkeit entsprechende abgeplattete Gestalt annehmen, eben so konnten sich die Massen nach Verhältniß ihres specifischen Gewichtes um den Mittelpunkt anordnen, wie es die Untersuchungen über die Dichtigkeit der Erde verlangen **). Daß dessenungeachtet manche durch ihre specif. Schwere ausgezeichnete Massen, Metalle, in der Oberfläche gefunden werden, kann als kein Einwand hiergegen angesehen werden, da für diese einzelnen Stoffe unzweifelhaft noch andere Bewegungskräfte, als die der Schwere, thätig gewesen sind.

Die ursprüngliche Hitze des Erdkörpers muß mindestens 6000° C. betragen haben ***), der Weltraum aber ist jedenfalls noch unter — 56,7° C. kalt; folglich kühlte sich die Erde von Außen nach Innen ab, und endlich ****) mußte ein Theil der Erdoberfläche in den festen Zustand übergehen. Durch die Sonne und Sterne erhielt aber die Erde, wie die jetzigen Wärmeverhältnisse auf der Erdoberfläche beweisen, nicht so viel Wärme, um diese Abkühlung zu verhindern.

Die starre Kruste über dem tropfbarflüssigen Kerne konnte nicht als ein zusammenhängendes Ganze bestehen; denn durch den Einfluß des Mondes und der Sonne mußte die geschmolzene Erdmasse nicht nur, sondern auch die dieselbe einhüllende Atmosphäre eben so ebben und fluthen, wie das jetzige Weltmeer (vergl. Art. Ebbe und Fluth in Bd. II.), und da die Höhe der Wasserfluth von der Meerestiefe, die Stärke der atmosphärischen von der Dichtigkeit der Atmosphäre abhängig ist, so mußte die Wirkung dieser Fluthen viel bedeutender sein, als in der Jetztzeit. Die kaum gebildete starre Kruste mußte hierdurch zerrissen werden, die einzelnen Stücke schwammen in Schollen auf der Oberfläche umher und setzten sich mit mehr oder weniger Unregelmäßigkeit wieder zusammen, um abermals zerrissen zu werden, bis endlich die schwimmenden Steinberge an Umfang und Dicke so anwuchsen, daß sie eine zusammenhängende Decke über die ganze Erdkugel bildeten. (Ueber die analoge Eisbildung in den Eismeeren vergl. Art. Eis Bd. II. S. 610 u. 611.)

---

*) Art. Erde. Bd. II. S. 926.

**) Art. Erde. Bd. II. S. 907.

***) Bd. II. S. 928.

****) Vergl. über die Untersuchungen G. Bischof's in Betreff der Abkühlungszeit Art. Erde. Bd. II. S. 929.

Die Erdrinde, welche sich auf diese Weise gebildet hatte, finden wir in den krystallinisch=massigen Gesteinen (Artikel Berg Bd. I. S. 782), die ihres Ursprungs wegen plutonische heißen und als die ersten festen Gebilde Urgebirge genannt werden. Sie treten in den granitischen Bergspitzen der Hochgebirge als Zeugen des mächtigen Aufruhrs in der ersten Bildungsperiode der Erdfeste auf, liegen aber sonst in unerforschter Mächtigkeit in der Tiefe und sind da von anderen Gebirgsarten überdeckt. Daß diese Urgebirgsmassen gleichwohl von verschiedener Beschaffenheit sind, ist leicht begreiflich; sie entstanden ja nicht ganz gleichzeitig, und unmerkliche Uebergänge, die aber die Verwandtschaft nicht verkennen lassen, mußten sich bilden. Und die vulkanischen Producte der Jetztzeit sind ja auch nicht übereinstimmend *). Eben so erklärlich ist, daß in den Lagerungsverhältnissen der Urgebirgsmassen sich nichts Gesetzmäßiges erkennen läßt.

Die starre Erdrinde mußte, wie schon zu der Zeit, als der ganze Kern noch tropfbarflüssig war, eine Atmosphäre umgeben, welche in Folge der großen Hitze nicht nur die Bestandtheile unserer jetzigen Atmosphäre enthielt, sondern auch das Wasser unserer jetzigen Meere, außerdem noch als Kohlensäure allen Kohlenstoff, welcher später von den Pflanzen und Thieren verbraucht wurde, desgleichen den Stickstoff des Thierreichs und überdies noch viele andere Stoffe, welche sie in Folge der durch die große Hitze verstärkten auflösenden Kraft aufzunehmen fähig war **).

Nach Bildung der Erdrinde hörte die Reaction des Erdinnern gegen das Aeußere nicht auf; es entstanden vielfache Spalten, in welche und durch welche die geschmolzene Erdmasse emporstieg. So entstanden nicht nur die Granitgänge im Urgebirge selbst, sondern auch in den überströmenden Massen neue Erhöhungen auf der Oberfläche. Noch war aber die Hitze zu groß, als daß die Oberfläche hätte von Wasser bedeckt werden können, eben so war die Existenz organischer Wesen bei der noch hohen Temperatur und sonstigen eigenthümlichen Beschaffen=

---

*) Poggend. Ann. Bd. XC. S. 103.

**) Zur Beurtheilung der Expansivkraft des Wasserdunstes bei hohen Temperaturen können wir eine der 43 in dem Artikel Dampf Bd. II. S. 135 — 140 aufgeführten Formeln zu Grunde legen; wählen wir Nr. 32, da diese zur Berechnung der Bd. II. S. 134 enthaltenen Tabelle benutzt ist, so entspricht einer Temperatur von 224° C. bereits ein Druck von 24 Atmosphären und bei 360° C. würde man schon 200°, bei 420° C. 400 Atmosphären erhalten. Es folgt hieraus, daß bei der noch höheren Hitze zur Zeit der Bildung der festen Erdrinde alles Wasser in Dampfform in der Atmosphäre enthalten sein mußte, indem damals die Expansivkraft des Wasserdunstes den Druck der damaligen Atmosphäre überstieg. Bei Annahme einer mittleren Meerestiefe von 8000 Fuß und der Meeresfläche zu ³/₄ der ganzen Erdfläche würde nämlich die ganze Wassermasse als Dunstatmosphäre nur einen Druck von 200 der heutigen Atmosphäre im Maximum der Expansivkraft ausüben. — Was den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre in früheren Zeiten betrifft, so spricht sich zwar G. Bischof (Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie Bd. I. S. 322 und Bd. II. S. 39) gegen die Ansicht aus, daß die Atmosphäre in der Schöpfungsperiode reicher an diesem Gase war, als heut zu Tage, und daß das, was sie jetzt noch enthält, der Rest sei von jener zersetzten Kohlensäure; da wir aber hier noch die Erdperiode im Auge haben, welche dem Erscheinen des Pflanzen= und Thierreichs vorausging, so glauben wir diese Ansicht aufrecht erhalten zu können. Bischof nimmt an, daß die Kohlensäure, welche für das Thier= und Pflanzenreich erforderlich ist, aus dem Innern der Erde in die Atmosphäre überströme und seit undenklichen Zeiten geströmt sei. Selbst wenn wir Bischof beistimmten, scheint vor der Schöpfungsperiode der organischen Wesen ein größerer Kohlensäuregehalt der Atmosphäre als zur Jetztzeit eine Nothwendigkeit zu sein.

heit der Atmosphäre unmöglich. Wie lange dieser Zustand dauerte, wer könnte dies nach Jahren bestimmen? Eine ungefähre Vorstellung können wir uns aus Bischof's Berechnung (vergl. Art. Erde Bd. II. S. 929) machen, nach welcher 353 Millionen Jahre nöthig gewesen sein müssen zu einer Abkühlung von 288° C. bis auf 0,013° C. über die Temperatur des Weltraumes. Daß die Abkühlung der Erde immer fortschreiten mußte, läßt sich nicht bestreiten, und nach physikalischen Principien mußte diese Abkühlung immer langsamer erfolgen, je niedriger die Temperatur der Erde selbst wurde. Eben so steht fest, daß wegen des schlechten Wärmeleitungsvermögens der starren Erdrinde die Abkühlung unterhalb derselben nicht mehr so schnell erfolgen konnte, als vor Bildung der Rinde, und daß sie mit der äußeren Abkühlung nicht in gleichem Verhältnisse stand, so daß das Erdinnere auf einer höheren Temperatur bleiben mußte als die Atmosphäre. Endlich trat ein Moment ein, in welchem die Abkühlung der Atmosphäre bis auf 360° C. fortgeschritten war, und da mußte nach den vorher aufgestellten Resultaten der Rechnung ein Niederschlag des in der Atmosphäre befindlichen Wassers stattfinden, indem das Maximum der Expansivkraft der Wasserdünste überschritten wurde.

Jetzt begann die zweite Periode, der Anfang des Kampfes zwischen den plutonischen und neptunischen Kräften. Die Ebbe und Fluth, welche nach Bildung der Erdrinde bis jetzt nur auf die Atmosphäre beschränkt war, mußte nun auch in dem dichteren Wasser eintreten. Erhöhungen und Vertiefungen waren bereits auf der Erdoberfläche; Meere und Seen bildeten sich, und ein fortwährender Wechsel zwischen Verdunstung und Niederschlag, und zwar bei der großen Hitze auch von ungemeiner Intensität, mußte stattfinden. Die zerstörenden Wirkungen, welche das Wasser jetzt noch ausübt durch seine auflösende Kraft, durch die mechanische Wirkung der Schwere beim Herablaufen von höheren Gegenden zu niederen und beim Anschlagen der brandenden Meereswogen, konnten damals schon nicht ausbleiben, und waren damals gewiß um so bedeutender, als die Atmosphäre bereits Tausende oder wohl gar Millionen von Jahren auf die Urgebirge zersetzend eingewirkt hatte, und auch weil das Wasser heiß war. Die von den Urgebirgen losgerissenen Massen wurden von dem Wasser mit in die Tiefe geführt, lagerten sich hier ab und bildeten Schichten. Wegen der Veränderungen, welche die Gebirgsarten durch äußere Einflüsse erleiden, verweisen wir auf Art. Berg Bd. I. S. 786—788; wir erwähnen hier nur, daß so wie einzelne höher gelegene Punkte der festen Rinde aus dem niedergeschlagenen Wasser als Inseln hervorragten, durch locale Temperaturdifferenzen noch eine neue Kraft sich geltend machen mußte, indem Strömungen in der Luft eintraten, welche unzweifelhaft Niederschläge von Wassermassen zur Folge hatten, mit welchen die heftigsten Regengüsse der Jetztzeit wohl nicht zu vergleichen sein möchten. Wie großartig mußten also damals die Zerstörungen und Veränderungen auf der Erdoberfläche sein!

Die neptunischen Gesteine (Art. Berg Bd. I. S. 784—786) sind die Producte dieser Zerstörungen. „Berücksichtigt man," sagt G. Bischof*), „daß auf diese Weise ganze Gebirge zersetzt und dem mechanischen Angriffe der Gewässer Preis gegeben werden: so begreift man, wie letztere ungeheueres Material zu sedimentären Bildungen finden. So werden nach und nach solche Gebirge ganz

*) Geologie. Bd. I. S. 392.

geebnet, die fortgeführten Reste häufen sich auf dem Meeresboden an und bilden Sedimente. So wie solche Wirkungen für die Zukunft in Aussicht gestellt sind, und in der Gegenwart vor unseren Augen vor sich gehen: so haben sie seit der Schöpfungsperiode stattgefunden. Die ungeheuren sedimentären Formationen können keinen anderen Ursprung haben." Ferner sagt er *): „Durch Luft und Wasser zersetzte die Natur nach und nach die krystallinischen Gesteine. Die Zersetzungsproducte wurden theils auf mechanischem, theils auf chemischem Wege durch Gewässer fortgeführt. So trennte sich das fein Zertheilte von dem Groben, das Auflösliche von dem Unauflöslichen. Das mechanisch im Wasser Schwebende, wie das darin Aufgelöste setzte sich aus dem Wasser wieder ab. Jenes bildete abermals Gemenge verschiedener Substanzen, dieses homogene Gemische, häufig jedoch in Wechsellagerung verschiedener solcher Gemische. So entstanden die sedimentären Formationen."

Neben der Bildung dieser neptunischen Gesteine, bei welchen zur Bildung einer Formation vielleicht Zeiträume, die nach Millionen von Jahren gerechnet werden müssen, erforderlich gewesen sind, ruhten die plutonischen Kräfte nicht. Die der Atmosphäre zugewendete, zum Theil mit Wasser bedeckte Seite der Erdoberfläche kühlte sich schneller ab, als die dem Erdinnern zugekehrte. Folge dieser ungleichen Abkühlung war eine ungleiche Zusammenziehung, und Folge hiervon mußten Risse in der Erdrinde sein, durch welche die geschmolzene Masse des Innern einen Ausweg erhielt. Neue Berge entstanden, und Einsenkungen an anderen Stellen mußten damit verbunden sein. Diese Reaction des Erdinnern gegen das Aeußere dauerte fort und fort und hat bis jetzt noch nicht aufgehört, ist nur mehr local geworden, da die Dicke der Erdrinde für einen allgemeinen Durchbruch ein Hinderniß wurde. Die Erdbeben und Vulkane (vergl. diese Art.) sind Belege hierfür. Die plutonischen Massen mußten jedoch je nach der Zeit ihrer Entstehung verschieden ausfallen. Bildete sich in der ersten Periode unter dem Drucke einer heißen Atmosphäre und ohne Einwirkung des Wassers durch langsame Abkühlung der krystallinische Granit, so waren die Verhältnisse, als Wasserniederschläge eingetreten waren, andere; hierzu kommt noch, daß die aufsteigenden Massen aus immer größeren Tiefen kommen mußten, wodurch allein schon eine Verschiedenheit bedingt wurde, und daß mit der immer mehr sinkenden Temperatur der Atmosphäre die Abkühlung der geschmolzenen Masse auch rascher erfolgte. Die Basalte, Phonolithe und Trachyte zeigen in ihrer Structur ganz entschieden diese veränderten Verhältnisse an, namentlich scheint eine mit Wasser stattgefundene Berührung ihre schnellere Erkaltung bewirkt zu haben. Die Laven, die plutonischen Massen der Jetztzeit, erstarren wiederum an der Atmosphäre, aber unter einem Drucke, welcher gegen den in der Urzeit ein unverhältnißmäßig geringer ist; doch dürfte auch jetzt die Bildung basaltischer Massen noch möglich sein, wenn wir nur annehmen, daß die Eruption unter dem Meere erfolgt sei. Welchen Einfluß diese Zerklüftungen, Hebungen und Senkungen auf die Lagerungsverhältnisse gehabt haben, können wir hier übergehen, da es genügt auf Art. Berg Bd. I. S. 792 zu verweisen.

Eine neue Periode, die dritte, mußte beginnen, als nach und nach, freilich nach Millionen von Jahren, die Abkühlung der Atmosphäre und der Erdober-

*) A. a. O. Bd. II. S. 15.

fläche bis unter den Siedepunkt des Wassers, oder vielmehr bis unter den Gerinnungspunkt des Eiweißes, d. h. 70° fortgeschritten war. Ein organisches Leben wurde nun möglich, und wie wir aus den Versteinerungen sehen, von denen wir die ersten Spuren in der unteren Grauwacke entdecken, muß dieser Zeitpunkt vor dem Niederschlage dieses sedimentären Gebildes eingetreten sein. Wie die ersten organischen Wesen auf der Erde entstanden sind, das ist uns eben so unbekannt, wie der Uranfang aller Dinge.

Da damals die Erdrinde noch keine beträchtliche Dicke hatte, vielleicht auch das Innere mit dem Aeußeren durch vielfache Oeffnungen in Verbindung stand, so fand unzweifelhaft eine so bedeutende Wärmeausstrahlung auf der ganzen Erdoberfläche statt, daß eine Verschiedenheit in der Einwirkung der Sonnenstrahlen auf die Erde, je nach der Stellung derselben zu diesem Centralkörper noch nicht bemerkbar sein konnte. Klimatische Unterschiede in den verschiedenen Breiten waren daher unmöglich, Sommer und Winter existirten noch nicht, selbst zwischen Tag und Nacht konnte bei der dichten, die Sonnenstrahlen schwächenden Atmosphäre keine merkliche Temperaturdifferenz hervortreten. Auf der ganzen Erdoberfläche herrschte mithin ein Klima nicht nur von übertropischer Hitze, sondern auch von ungemeiner Feuchtigkeit. Eine üppige Vegetation und ein Thier- und Pflanzenleben, welches mit dem der Jetztzeit zwischen den Wendekreisen die meiste Aehnlichkeit hatte, mußte über die ganze Erdoberfläche verbreitet sein; wenigstens waren die Bedingungen hierzu vorhanden. Freilich war das Leben höher organisirter Wesen noch nicht möglich. Dies verhinderte der Zustand, in welchem sich die Atmosphäre noch befand. Die Pflanzen — Palmen, baumartige Schilfe, Farrenkräuter und dergleichen — gehörten zu den acotyledonischen (ohnsamenlappigen) und monocotyledonischen (einsamenlappigen) Gewächsen, die Thiere wegen des Mangels an mehlhaltigen Pflanzen zu den niederen Thierstufen, und letztere waren meistens Bewohner des Meeres, denn das feste Land bestand damals erst aus wenigen Inseln.

Aus den Lagerungsverhältnissen erkannte Elie de Beaumont die verschiedenen Erhebungssysteme der Berge in Europa, und ein Blick auf die im Art. Berg Bd. I. S. 797 — 803 gegebene Zusammenstellung ergiebt, wie wenige der jetzt noch bestehenden Gebirge damals gehoben waren. Es sei hier noch bemerkt, daß alle die Erhebungen bereits damals vorhanden sein mußten, auf welchen die Urgebirgsarten zu Tage anstehen, und daß daraus hervorgeht, daß Amerika nicht jüngeren Ursprungs sein kann als die übrigen Erdtheile, weil auch dort dieses Vorkommen beobachtet wird. Wir wissen nicht, auf welche geognostische Erfahrungen Agassiz sich stützt, glauben aber einen Ausspruch desselben *) wohl beherzigen zu müssen, daß die neue Welt eigentlich die älteste sei, daß, als die verschiedenen Theile Europas noch vom Meere überschwemmt waren, aus dessen Schooße nur zuweilen einige Inseln auftauchten, Amerika bereits ein Festland gewesen sei, und daß daher die Thiere und Vegetabilien dieses Erdtheils weniger den in Europa existirenden organisirten Geschöpfen der gegenwärtigen Epoche, als den Geschöpfen der vormenschlichen Epoche glichen.

Es reicht diese Periode bis zu der Kreideformation einschließlich, oder bis zu

---

*) Minerva 1853. Juni. S. 292.

dem Beginne der basaltischen Eruptionen; denn schon oben ist bemerkt worden, daß die verschiedenen krystallinischen Gesteinmassen auch unter wesentlich verschiedenen Verhältnissen entstanden sein müssen, und so deutet das Auftreten der Basalte auch eine neue Periode in der Erdbildung an. Es gehören also in die dritte Periode alle die sedimentären Bildungen, welche im Art. Berg Bd. I. S. 796 und 797 unter Nr. 2 bis 6 aufgeführt sind.

In der ersten Zeit, wie wir aus derselben Zusammenstellung sehen, traten noch viele Durchbrüche ein begleitet von vielfachen Zerstörungen auf der Erdoberfläche. Es war dies die Zeit der Entstehung der Porphyre. Diese Durchbrüche müssen von außerordentlicher Ausdehnung und Heftigkeit gewesen sein; dafür sprechen die Erscheinungen, welche sich nur durch Einsenkungen von Flächen, welche lange über dem Niveau des Meeres gelegen hatten, und anderer Seits durch Erhebungen von Stellen, die früher Meeresgrund gebildet hatten, erklären lassen, wozu noch kommt, daß dergleichen Veränderungen abwechselnd stattgefunden haben müssen. Wir erkennen dies aus den Versteinerungen und aus den Steinkohlenflötzen. Im Saarbrücker Kohlengebirge *) liegen 120 Steinkohlenflötze über einander, wobei die vielen schwachen bis gegen einen Fuß dicken ungerechnet sind. Wir sehen also, daß die Pflanzendecke sich an demselben Orte mehrfach über einander wiederholt hat, wobei überdies wegen der Zeitbestimmung zu beachten ist, daß manche Kohlenflötze **) eine Mächtigkeit von 30, ja von 50 Fuß haben.

Mit der Zechsteingruppe trat Ruhe ein, wie sich aus den Lagerungsverhältnissen ergiebt; auch findet sich in dieser Gruppe in Gestalt einer beschuppten Eidechse das erste luftathmende Gliederthier, ein Saurier ***), und eben so war in dieser Zeit die Vegetation auf eine höhere Stufe fortgeschritten, indem sich neben Farrenkräutern auch Nadelhölzer einstellen.

Mit der nächsten Gruppe, der Triasgruppe, welche den Charakter einer Strandbildung an sich trägt, entwickelte sich eine immer höhere Organisation; selbst Thierfährten hat man hier entdeckt.

Die hierauf folgende Juraformation giebt Beweise von der Reichhaltigkeit der Thierwelt. Die Korallenbildung zeichnet sich ganz besonders aus; daneben finden sich riesengroße Reptilien (Ichthyosaurier), mit Flugwerkzeugen versehene eidechsenartige Thiere (Pterodactylus), Schildkröten von bedeutender Größe; ja sogar bis zu der Bildung eines Säugethieres stieg die thierische Entwickelung, wenn auch nur bis zu dem weniger vollkommenen Geschlechte der Beutelthiere.

In der Epoche der Grünsand- und Kreideablagerungen finden sich Spuren von Vögeln und eine große Zahl von Fischen, unter den Reptilien die Dinosaurier und aus dem Pflanzenreiche bereits Blätter von dicotyledonischen (zweisamenlappigen) Gewächsen. Die Kreideablagerung ist die letzte, welche einen allgemeinen von der Breite unabhängigen Charakter an sich trägt und sich fast gleichmäßig über die ganze Erdoberfläche erstreckt. Ueber die Versteinerungen dieser Periode vergl. v. Humboldt's Kosmos Bd. I. S. 287. Einen Ueberblick des

*) Bischof, Geologie. Bd. II. S. 34.
**) v. Humboldt, Kosmos. Bd. I. S. 295.
***) v. Humboldt, Kosmos. Bd. I. S. 287.

Festlandes von Europa zur Zeit der Kreideperiode gewährt die beigefügte Karte nach Elie de Beaumont *). — (Siehe die Karte der Kreideperiode.)

Wie viele Jahre zur Bildung aller dieser Formationen nöthig gewesen sind, davon kann man sich einen Begriff machen, wenn man bedenkt, daß G. Bischof **) für die Bildung der Saarbrücker Steinkohlenformationen einen Zeitraum von 1004177 Jahren berechnet.

Durch die zahlreichen sedimentären Gebilde hatte die Erdrinde in der dritten Periode eine bedeutende Zunahme an Dicke gewonnen. In der vierten Periode (vergl. Art. Berg Bd. I. S. 797. Nr. 7) kam zwar durch allmälige Hebungen und Senkungen noch ein häufiger Wechsel zwischen Land und Meer vor, die Ausbrüche des inneren, feurigflüssigen Kernes wurden aber mehr local. Die Producte dieser Ausbrüche sind: Trachyt, Phonolith und Basalt. Die äußeren Verhältnisse der Erdoberfläche gestalteten sich bereits mehr den jetzt stattfindenden gemäß. Große Landseen existirten noch, die einschließenden Wände wurden aber durch die Kraft des herabstürzenden Wassers durchbrochen und in den trockengelegten Seebecken und an dem unteren Laufe der Ströme, auf deren Bettbildung die angegebenen Eruptionen den bedeutendsten Einfluß ausüben mußten, blieben Ablagerungen zurück.

Die Pflanzen- und Thierwelt nähert sich immermehr in ihren Formen denen der Jetztzeit. Das aufgeschwemmte Land bietet hierfür zahlreiche Belege. In den Braunkohlenlagern liegen ganze Wälder begraben. Von den Säugethieren und Vögeln sind viele Gattungen in mehrfachen Arten nachgewiesen, nur von Affen und Menschen sind im aufgeschwemmten Lande noch keine Knochen gefunden. Ueber die Abweichungen der Geschöpfe dieser Periode von denen der Jetztzeit verweisen wir auf v. Humboldt ***), welcher auch die nöthigen literarischen Nachweisungen liefert.

Da wir in allen Breiten, z. B. in Sibirien ebenfalls, Reste von Thieren finden, deren Existenz von einer reichen Vegetation abhängig ist (Mammuth), so mußte das Klima immer noch ein gleichmäßiges sein auf der ganzen Erdoberfläche. Es hat daher die Frage, wodurch der Untergang dieser organischen Geschöpfe herbeigeführt wurde, da die Eruptionen eben mehr local geworden waren, und daher in ihnen der Grund der Revolutionen nicht gefunden werden konnte, zu verschiedenen Vermuthungen Veranlassung gegeben. Einige nehmen eine plötzliche Erniedrigung der Temperatur der Erde an, wofür jedoch kein Grund zu ermitteln ist; Andere meinten, die Rotationsaxe der Erde habe eine Aenderung erlitten ****), was indessen durch die Abplattung widerlegt wird *****); wieder Andere glaubten die Ursache in der Sündfluth (Diluvium) gefunden zu haben, ohne zu bedenken, daß

---

*) Entlehnt aus: Vogt, Lehrbuch der Geologie und Petrefaktenkunde. Braunschweig 1847. Bd. II. S. 272. Fig. 445.

**) Geologie. Bd. II. S. 101.

***) Kosmos. Bd. I. S. 288 u. 289.

****) v. Justi, Geschichte des Erdkörpers. Berlin 1771; eben so: John Ray, Physico-theological discourses concerning the primitive chaos, the general deluge and the dissolution of the world. London 1692, und der Abbé Plüche, Spectacle de la nature, à la Haye 1738. T. III.

*****) Laplace, Expos. du Syst. du Monde T. II. p. 138.



Lith. Anst. v. J. G. Bach, Leipzig

Karte des Meeres in der Kreideperiode.

Helle Schraffirung — Kreidemeer | dunkle Schr. — Unsichere Localitäten | ohne Schr. — Festland.

Ufer des Kreide-Meers | Ufer des jetzigen Meers

die fossilen Reste der Diluvialformationen von den jetzt lebenden Geschöpfen wesentlich verschieden sind, während nach der biblischen Darstellung Uebereinstimmung nothwendig sein müßte. Eine allgemeine Ursache möchte sich schwerlich ermitteln lassen, auch sprechen die diluvianischen Gebilde selbst dafür, daß wenigstens ein Theil derselben räumlich beschränkten Ursachen seine Entstehung zu danken hat. Partielle Hebungen und Senkungen, plötzlich durch Erdbeben oder allmälig, wie wir es jetzt noch erleben, werden damals auch stattgefunden haben, und dazu kam noch eine andere Kraft, welche früher nicht wirken konnte, nämlich die Kälte. Durch die allmälig fortschreitende Abkühlung stellte sich endlich ein klimatischer Unterschied ein, abhängig von der Breite und Höhe. Eis, Schnee und Gletscher (s. d. Art.) in ihrem Entstehen und Vergehen hatten bedeutende Veränderungen zur Folge, und letzteren namentlich schreibt man gewiß nicht mit Unrecht eine große Mitwirkung zu bei Ablagerung der diluvianischen Schichten und namentlich bei der Fortführung der sogenannten erratischen Blöcke *).

Wir führen hier noch v. Leonhard **) an: „In wiefern die verschiedenen Diluvial-Formationen, als mehr gleichzeitigen Ursprungs gelten können oder nicht, bis in welcher Entfernung und in welcher Weise die Diluvialströmungen auf die Planetenoberfläche eingewirkt haben, dies sind Thatsachen, die mitunter noch genügendere Erörterungen verlangen. Einigen Geologen gelten diese Gebilde sämmtlich als zu gleicher Zeit verbreitet, andere betrachten sie als Erzeugnisse verschiedener Perioden; manche Gebirgsforscher endlich wollen dieselben durch anhaltendes Wirken heutigen Tages noch thätiger Ursachen entstehen lassen. Für einzelne Glieder der Gruppe kann jede dieser Meinungen die wahre sein, als allgemein gültig aber läßt sich keine annehmen."

Mit den Vulkanen beginnt die fünfte und letzte Periode. Sie wird bezeichnet durch den Untergang der Thiere, deren Existenz, an eine wärmere Temperatur gebunden, bei der nun entschiedenen klimatischen Absonderung in den Gegenden, welche sie bewohnten, unmöglich wurde, und durch das Auftreten des Menschen. Die Verhältnisse der Erdoberfläche gestalteten sich immer mehr denen der Jetztzeit gleich und die Vulkane scheinen, ungeachtet ihrer geringen Zahl, indem auf Flächenräumen so groß als Europa kaum 4 kommen, gegen so großartige Umwälzungen, wie wir sie in den früheren Perioden kennen gelernt haben, als Sicherheitsventile zu wirken und die Zeit der Ruhe zu begünstigen. Trotzdem hört die Entwickelung des Erdkörpers nicht auf. Mit der Zechsteingruppe trat auch Ruhe ein, und dennoch erfolgte später wieder die mächtige Eruption der Basalte. Was für ein kurzer Zeitabschnitt ist es nun, wenn auch 6000 Jahre oder noch einige Tausende mehr erst seit der Ausbildung der verschiedenen Klimate auf der Erde verflossen sind, wenn wir an die Millionen von Jahren denken, welche während der früheren Perioden verflossen, oder auch nur an die Zeit von einer Million, welche zur Steinkohlenformation erforderlich gewesen ist? Sehen wir uns nun nach Veränderungen um, welche nach dem Auftreten des Menschen stattgefunden haben, oder vor unseren

---

*) Agassiz, Untersuchungen über die Gletscher. Solothurn 1841; vergl. Bronn, Handbuch einer Geschichte der Natur. Bd. I. 174 u. 175, desgl. Bd. I. S. 437 und über die Blöcke Bd. II. S. 534. Dagegen v. Humboldt, Kosmos. Bd. I. S. 299.

**) Lehrbuch der Geognosie und Geologie. S. 232.

Augen stattfinden. Die Temperatur scheint allerdings jetzt stabil geworden zu sein (vergl. Art. Erde Bd. II. S. 928); aber die Verwitterung der Felsmassen hört durch die atmosphärische Einwirkung nicht auf, die Vegetation befördert diese Zerstörung, und durch die atmosphärischen Niederschläge, durch die Bäche und Ströme werden die von den Gebirgen losgerissenen Theile in die Ebenen und in die Meere fortgeführt, wo neue sedimentäre Bildungen als Resultate sich ergeben. Wir erinnern ferner an das Meer, dessen Wogen, während allerdings an einzelnen Stellen die Küsten durch Dünen, Sandbänke und dergleichen vorrücken, vielfache Zerstörungen veranlassen; wir erinnern an die Winde, an die Erdbeben, an die Vulkane (vergl. diese Artikel), und da kann uns kein Zweifel bleiben, daß kein Jahr ohne merkliche Veränderungen vergeht. Aber wir entdecken bei näherer Untersuchung auch Veränderungen von weniger gewaltsamer Natur. Bereits im Art. Erdbeben Bd. II. S. 867 ist auf die allmälige Hebung von Schweden von Frederikshall bis Abo an der Vorspitze des bothnischen Meerbusens aufmerksam gemacht und dabei bemerkt, daß zur Erklärung derselben angenommen werden müsse, daß dieselbe Kraft, welche in den Erdbeben thätig ist, hier täglich und immer fort wirke, ohne von den unheilvollen Wirkungen begleitet zu sein, welche sonst in ihrem Gefolge sind. Wir bemerken hier, daß bereits vor etwa 150 Jahren Celsius auf diese Erscheinung aufmerksam machte, daß aber L. v. Buch 1807 zuerst den Gedanken von einer allmäligen Hebung ausgesprochen hat *). In einem Jahrhunderte beträgt die Hebung 3 bis 5 Fuß **). Das Gegentheil hiervon bildet eine allmälige Senkung, welche wohl seit 100 Jahren an der Westküste von Grönland stattgefunden hat ***). In gleiche Kategorie hat man die Erscheinung an den 3 Säulen des Serapis-Tempels bei Puzzuoli gestellt ****); doch ist nach Forbes †) und Lyell ††) das Phänomen aus den in jenen Gegenden so häufigen Erderschütterungen zu erklären.

Läßt sich mithin die Thätigkeit innerer und äußerer Kräfte in der Jetztzeit nicht läugnen, so werden wir auch den früheren Verhältnissen analog eine weitere Entwickelung und Umwandlung des Erdkörpers zugeben müssen, wiewohl der Zeitpunkt des Beginnes einer neuen Periode noch Tausende oder Millionen von Jahren entfernt sein mag, da wir entschieden uns noch im Anfange der jetzigen Periode befinden. Was dann geschehen werde, das zu bestimmen, fehlt uns der sichere Boden. Eine lebhafte Phantasie möge sich dies ausmalen; um einer solchen aber wenigstens einen Fingerzeig zu geben, wohin sie ihre Speculationen zu

---

*) Reise durch Norwegen und Lappland. Bd. II. S. 289.

**) Lyell, Principles of Geologie und Philos. Transact. 1835: On the Proofs of a gradual Elevation of certain ports of Sweden, vergl. auch Forchhammer: „On Changes of Level which have taken place in Denmark in the present times" in Transact. of the Geological Society of London. T. VI. 1841.

***) Pingel in Procedings of the Geological Society of London. T. II. p. 208.

****) Vergl. v. Leonhard, a. a. O. S. 561 und Vogt, Lehrbuch der Geologie und Petrefactenkunde. Braunschweig 1847. Bd. II. S. 243, wo auch eine Abbildung der Säulen geliefert ist.

†) James Forbes, physical notices of the bay of Naples. Brewster's Edinburgh Journal of Science. Vol. I.

††) Observations on the Temple of Serapis, at Puzzuoli, near Naples: Procedings of the geol. Soc. of London. March. 1834. Vol. II. p. 74.

richten haben möchte, wollen wir hier noch andeuten, daß unser Mond wahrscheinlich schon mehrere Perioden als die Erde durchlebt hat, und daß die Erde wahrscheinlich einen gleichen Gang der Entwickelung zu nehmen haben möchte.

In der vorstehenden Skizze sind besonders die physikalischen Kräfte ins Auge gefaßt worden, durch deren Kampf die Gestaltung der Erdrinde herbeigeführt wurde; bei näherer Betrachtung ergiebt sich aber, daß durch diese Kräfte doch eigentlich nur die Form und das Lagerungsverhältniß der Gebirgsarten bestimmt werden konnte, während eine große Anzahl von Fragen dadurch unerledigt bleibt. Es betreffen diese Fragen namentlich die Bildung der Mineralien in krystallinischen Gesteinen, und dadurch werden wir vor das Forum der Chemie verwiesen. In neuerer Zeit ist auf diesem Gebiete eine große Thätigkeit entwickelt worden, belohnt durch die schönsten Erfolge. Wir können indessen hier den Gegenstand nicht ins Einzelne verfolgen, und, deshalb auf die dahin gehörige Literatur verweisend, wollen wir nur einige Punkte berühren, die wir bereits in dem descriptiven Theile als von besonderer Wichtigkeit angedeutet haben. Neben der Bildung der metamorphischen Gesteine sind dies die Gangausfüllungen und Drusen.

Die im Art. Berg Bd. I. S. 784 als „krystallinisch-schiefrige, metamorphische Gesteine" aufgeführten Formationen werden *) von Einigen für umgewandelte Schichtgesteine gehalten und deshalb auch metamorphische Gesteine genannt. Andere halten sie theils für Resultate ursprünglicher Erstarrung eines einst heißflüssigen Erdkörpers, theils für eruptiv (plutonisch). Sie wurden früher mit dem größeren Theile der Massengesteine gemeinschaftlich Urgebirge oder Primitivgesteine genannt. Hieraus sehen wir schon, daß v. Humboldt **) wohl nicht Unrecht hat, wenn er den Proceß, durch welchen diese Massen gebildet wurden, einen „dunklen" nennt. Dies liegt auch in der Charakteristik, welche derselbe ***) giebt: „Das umgewandelte (metamorphosirte) Gestein ist verändert in seinem inneren Gewebe und seiner Schichtenlage entweder durch Contact und Nähe eines plutonischen oder vulkanischen Ausbruchs-Gesteins, oder was wohl häufiger der Fall ist, verändert durch dampfartige Sublimation von Stoffen, welche das heißflüssige Hervortreten gewisser Eruptions-Massen begleitet." Hierbei verweist v. Humboldt auf L. v. Buch ****), welcher zuerst von Metamorphismus gesprochen hat.

Die Ansicht, daß diese Gesteine metamorphosirt seien, hat in neuerer Zeit die Oberhand behalten, indessen sind auch hierüber die Ansichten noch verschieden. Von einer Seite beruft man sich auf die Erscheinungen, welche man an den Bekleidungen der Hohöfen und Kalköfen, so wie aller jener Gebäude wahrnimmt, in welchen man längere Zeit hindurch einen gewaltigen Hitzegrad unterhält; eben so

---

*) Cotta, Leitfaden und Vademecum der Geognosie. 1849. S. 25.

**) Kosmos. Bd. I. S. 267.

***) A. a. O. Bd. I. S. 258.

****) Ueber Dolomit als Gebirgsart 1823. S. 36 u. Abhandl. der Akad. der Wissensch. zu Berlin aus dem Jahre 1842. S. 58 u. 63, u. Jahrb. für wissenschaftl. Kritik 1840. S. 195.

beruft man sich auf die Umwandlung des Glases in Reaumur's Porcellan durch Cementation. Ein gemengtes sedimentäres Gestein könne, wenn es die erforderlichen Bestandtheile enthalte, gleichfalls durch Cementation in ein krystallinisches Gestein umgewandelt werden. Die neptunischen Schichten wären, als die Erdrinde noch keine große Dicke besessen hätte, in der Nähe des feurig-flüssigen Kernes durch die große Hitze und unter gewaltigem Drucke umgewandelt worden, indem ein Durchglühen und ein theilweises Flüssigwerden stattgefunden habe *). Dieser Ansicht gegenüber steht G. Bischof **). Das wasserhaltige Kaolin ist entschieden aus dem wasserfreien Feldspathe als secundäre Bildung hervorgegangen, folglich hat das Wasser eine wesentliche Rolle bei dieser Umwandlung gespielt; eben so sind die Zeolithe in den krystallinischen Gesteinen nichts Anderes als Umwandlungen des Labradors durch Aufnahme von Wasser. Hieraus kann man schließen, daß wohl auch bei allen übrigen Umwandlungen im krystallinischen Gesteine das Wasser thätig gewesen ist. Die Quellen (s. d. Art.) sind die schlagendsten Beweise für die Thätigkeit des Wassers in der Erdrinde, und es liegt nahe, daß, wenn die durch die Schichten sickernden Wasser Theile der Gesteine auflösten und fortführten, diese bei eintretender Ruhe oder bei eintretendem Verluste der auflösenden Bestandtheile, z. B. des kohlensauren Gases, oder bei sich geltend machenden Verwandtschaftsverhältnissen in Folge von Berührung das Aufgelöste wieder abgeben mußten. Auf diese Weise konnte aus losem Sande, Thone, Mergel und kreideartigen Kalkmassen fester Sandstein, Schiefer, Mergelstein und Kalkstein sich bilden, indem die ganze Masse des sedimentären Gebildes mit neuen Stoffen imprägnirt und mit Bindemitteln durchdrungen, auch mit Erzstoffen bereichert wurde. Es sei hierbei an den Kupfergehalt der Zechsteingruppe erinnert, der durch Mineralquellen mit Schlamm eingeführt zu sein scheint, wie die zahlreichen Fischreste bekunden, deren eigenthümliche Krümmung einen durch Vergiftung herbeigeführten Tod und deren vollständige Erhaltung eine sofortige Einhüllung in Schlamm voraussetzen.

Dies vorausgeschickt, lassen wir G. Bischof selbst sprechen: Bd. II. S. 247. „Wäre der Gneiß ein inniges Gemenge aus Feldspath, Quarz und Glimmer, so hätte es keine Schwierigkeit, sich zu denken, wie sich während der Cementation des sedimentären Gesteines aus den vorhandenen Stoffen jene Fossilien gebildet hätten. Allein die Structurverhältnisse dieser Gebirgsart sind von der Art, daß blos die Feldspaththeile und Quarzkörner in mehr oder weniger innigem Gemenge zu dünnen Schichten verbunden sind, der Glimmer aber, die Theilungsrichtung bedingend, meist nur als dünnes Haufwerk neben und über einander liegender Blättchen und Schuppen erscheint. Da man unmöglich annehmen kann, daß die Materialien zur Bildung der drei Gemengtheile des Gneißes im sedimentären Gesteine eben so gesondert vorhanden waren, als wir sie nach der angenommenen plutonischen Metamorphose darin finden: so müßten während derselben ganz bedeutende Ortsveränderungen jener Materialien stattgefunden haben. Solche Ortsveränderungen sich in einem, auch noch so sehr erhitzten, aber immer noch starren Gesteine zu denken, ein Aufhäufen des Glimmers in Lagen mit gänzlicher Verdrängung

*) Vogt, Lehrbuch der Geologie und Petrefactenkunde. Bd. II. S. 213 ff.
**) Geologie. Bd. II. S. 51. S. 247 ff. S. 987. S. 1003. S. 1005 u. a. Stellen.

des Feldspathes und Quarzes zu begreifen, dies hat, wie jene Geologen gewiß nicht verkennen werden, seine großen Schwierigkeiten. Berücksichtigt man endlich, daß es schwerlich irgend ein sedimentäres Gestein giebt, welches so zusammengesetzt wäre, daß es während der Cementation ganz in Feldspath, Quarz und Glimmer umgewandelt werden könnte; sondern daß stets von Außen neue Bestandtheile, namentlich Alkalien zutreten müßten, um eine solche Metamorphose möglich zu machen: so stoßen wir auf unüberwindliche Hindernisse. Von demjenigen sedimentären Gesteine, welches am häufigsten analysirt worden ist, und dessen Umwandlung in Gneiß anzunehmen man vorzugsweise Veranlassung hat, vom Thonschiefer, läßt es sich wenigstens darthun, daß ohne Hinzukommen neuer Stoffe von Außen, eine gänzliche Umwandlung in Gneiß zu den unmöglichen Dingen gehört."

„Eine weitere Schwierigkeit erwächst der Hypothese von der plutonischen metamorphischen Bildung des Gneißes aus irgend einer sedimentären Formation durch den Wassergehalt des Glimmers. Der Thonschiefer, wenn er hier und da das Material dazu geliefert haben sollte, hält zwar Wasser in hinreichender Menge für die Glimmerbildung; Wasser und Glühhitze sind aber zwei Dinge, die sich nicht mit einander vertragen. Doch durch Druck kann man ja das Wasser zurückhalten; die Vertheidiger jener Hypothese werden also deshalb um so weniger in Verlegenheit sein, als sie ja nur das der Metamorphose unterworfene Gestein in die heißen Regionen des Erdinnern zu versenken und mit so vielen anderen sedimentären Formationen zu bedecken brauchen, um unter einem solchen Drucke die Metamorphose ruhig und ohne Verlust von Wasser von Statten gehen zu lassen."

„Führen uns die geognostischen Verhältnisse zur Annahme, daß der Gneiß nur durch eine metamorphische Umwandlung einer sedimentären Formation entstanden sein könne, stellen sich, wie wir gesehen haben, einer Umwandlung auf plutonischem Wege unübersteigliche Schwierigkeiten entgegen: so bleibt uns nur der nasse Weg übrig. Um so mehr können wir uns mit diesem befreunden, je mehr die Pseudomorphosen zeigen, was auf diesem Wege geschehen kann."

„Bd. II. S. 987. Der Umwandlungsproceß eines sedimentären Gesteines, wie des Thonschiefers, in ein krystallinisches reducirt sich darauf, daß sich die in jenem schon pêle-mêle existirenden, und nicht erst zu bildenden Silicate regelmäßig nach Verbindungs- und Krystallisationsgesetzen gruppiren und selbstständige zusammengesetzte Silicate bilden, und daß hierbei zwischen den Silicaten im Gesteine und in den durch dasselbe circulirenden Gewässern gegenseitige Zersetzungen erfolgen, wodurch vorhandene Basen fortgeführt und andere an ihre Stelle gesetzt werden."

Eben so heißt es Bd. II. S. 1005: „Die Bildungsfolge der Mineralien des Syenit, welche sich mit der Vorstellung einer plutonischen Bildungsart durchaus nicht einigen läßt, erklärt sich ganz ungezwungen aus einer Bildung auf nassem Wege."

Wir müssen wegen der näheren Durchführung auf G. Bischof's bedeutendes Werk selbst verweisen, bemerken daher nur, daß besonders B. Cotta *)

*) Geolog. Briefe aus den Alpen 1850 und v. Leonhard's und Bronn's neue Jahrb. f. Mineralogie.

als Gegner aufgetreten ist. Ueber die Ansicht der Plutonisten ist zu vergleichen v. Leonhard *).

Wegen der Pseudomorphosen (Veränderungen gewisser Mineralien unter Beibehaltung der Form), auf welche G. Bischof besonderes Gewicht legt, verweisen wir neben seinen Untersuchungen **) auf die Arbeiten von Haidinger ***), nach welchen in der Tiefe unter Einwirkung der Temperatur und starkem Drucke im Innern eines schon gebildeten Krystalles eine neue Anordnung der Theile statt haben kann und Verbindungen möglich werden, welche den chemischen Verwandtschaften an der Oberfläche gerade entgegengesetzt sind. Eben so gehören hierher die Arbeiten von E. Mitscherlich ****), welche sich namentlich auf den Einfluß der Temperatur auf den Wassergehalt und die Krystallform der schwefelsauren und selensauren Salze beziehen; auch Keilhau's geognostische Beobachtungen im südlichen Norwegen verdienen Beachtung *****), eben so die Zusammenstellung aller bis dahin bekannten Pseudomorphosen von Landgrebe †) und die noch reichhaltigere von Blum ††). Der Erste, welcher die Pseudomorphosen als umgewandelte Mineralkörper erkannte, war wohl Breithaupt †††).

Wir wenden uns nun zu den Ausfüllungen der Gänge. Diejenigen Spalten, welche ganz mit eruptivem Gestein ausgefüllt sind, ja aus denen dasselbe an der Oberfläche übergequollen ist, haben entschieden ihre Ausfüllung durch aus dem Innern herausgetriebene Stoffe erhalten. Hierbei begegnen wir außer der Störung der Lagerungsverhältnisse in Folge der Eruption einer Reihe neuer Erscheinungen. Von den begrenzenden Felsmassen hatten sich Trümmer losgelöst und diese finden wir von der feurigflüssigen Masse umhüllt entweder in ihrer Substanz verändert, oder durch Glühungen, Verglasungen und Verschlackungen bis zur Unkenntlichkeit entstellt. Manche Bruchstücke erscheinen zur Hälfte umgewandelt in geringerem oder höherem Grade, selbst geschmolzen, zur Hälfte aber unversehrt, oder bis auf die Farbe nicht verändert. Eben so erscheinen die nachbarlichen Gebirgsarten verändert in Folge der Wärme, welche auf sie einwirkte.

Anders als mit diesen Gesteinsgängen steht es mit den Mineral- und Erzgängen. Diese können nicht durch eine geschmolzene Masse, die von Unten nach Oben stieg, gefüllt sein. Es sagt von diesen Gängen v. Leonhard ††††): „Ueber das Entstehen jener Spalten und Risse und mehr noch über die Art ihrer Ausfüllung herrschten von jeher die größten Meinungs-Differenzen und selbst heutiges Tages fehlt eine Theorie, welcher ganz allgemein gehuldigt wird." Als die

*) Geognosie und Geologie 1835. S. 472—513, vergl. die Ansicht von Chr. Kapp ebenda. S. 512.

**) Geologie. Bd. II. S. 186—283.

***) Poggend. Ann. Bd. XI. S. 173. 366, Bd. LII. S. 622, Bd. LIII. S. 142 und Bd. LXII. S. 161. 306; eben so Jahrb. Jahrg. 1848 S. 489 und Jahrg. 1849 S. 213; desgl. Transact. of the Royal Society of Edinbourgh 1827. p. 148.

****) Poggend. Ann. Bd. VI. S. 193, Bd. X. S. 338, Bd. XI. S. 176. 323.

*****) Poggend. Ann. Bd. V. S. 1. 133. 261 u. 389.

†) Ueber die Pseudomorphosen im Mineralreiche. Kassel 1841.

††) Die Pseudomorphosen des Mineralreiches. Stuttgart 1843.

†††) Ueber die Aechtheit der Krystalle. Freiberg 1815.

††††) A. a. O. S. 756.

vorzüglichsten Hypothesen und Theorien über Gangbildung führt er *) folgende an:

1) „Die Gänge seien offene Spalten gewesen, meist von Einsenkungen der Felsmassen herrührend, und die einst leeren Räume wären vermittelst wässeriger Auflösungen von Oben erfüllt worden, theils auch durch innere Kanäle oder durch Einseihungen quer durch die Masse eines Ganges hindurch.

2) Man nimmt an, die Spalten wären beim gewaltsamen Emporheben der Felslagen entstanden und das Gang-Material sei im Zustande feuriger Schmelzung, oder durch Sublimation, von Unten her eingetrieben worden.

3) Die Gang-Formationen sollen gleichzeitig mit den Gesteinmassen sein; jede spätere Katastrophe, welche Risse und Spalten verursachte, oder Material in die Weitungen führte, wird abgeläugnet."

Die Entscheidung über die Art der Gangausfüllung gehört, wie wir bereits bemerkt haben, ebenfalls vor das Forum der Chemie. G. Bischof **) weist entschieden nach, daß die Eisen- und Manganerze von dem Nebengesteine herrühren, und so führt die Analogie auf eine gleiche Entstehung anderer Erze in Gängen, so daß man zu dem Schlusse berechtigt sein dürfte, alle Erze seien durch Gewässer aus dem Nebengesteine in die Gänge geführt. Ferner sagt er ***): „In Spalten und Drusenräumen erreicht die Natur den höchsten Grad der Sonderung. In sie flossen und filtrirten die Gewässer, beladen mit den aus dem Gebirgsgestein extrahirten Substanzen langsam und ruhig. Das Wasser verdunstete allmälig, das Ungleichartige bekam Gelegenheit sich zu sondern und in verschiedenen Lagen sich abzusetzen. Bei einem so langsamen Uebergange aus dem Flüssigen in das Feste konnte die Krystallisationskraft sich ungehindert äußern; durch sie sonderte sich noch immer mehr das Ungleichartige ab und so bildeten sich in Drusenräumen und Spalten die schönen, zuweilen ungewöhnlich großen Krystalle, die unsere Bewunderung erfüllen."

Hiermit können wir das die Drusenbildung Betreffende als erledigt ansehen, zumal wir uns hier eines näheren Eingehens enthalten müssen, und indem wir zugleich angedeutet haben, für welche Theorie wir uns entscheiden würden, begnügen wir uns mit einer Hinweisung auf G. Bischof's Werk selbst, auf den Abschnitt über die Gang-Theorien bei v. Leonhard ****), auf „die Erzgänge" bei Vogt *****) und auf „Ausfüllung von Spalten und anderen Höhlungen mit Mineralien" in Sir Henry de la Beche's Vorschule der Geologie †).

Daß die geologische Skizze, welche wir zu geben versucht haben, nur den derzeitigen Zustand der dynamischen Geologie bezeichnen kann, bedarf wohl kaum der

*) A. a. O. S. 761.
**) Geologie. Bd. I. S. 915.
***) A. a. O. Bd. II. S. 15.
****) A. a. O. S. 791—799.
*****) Lehrbuch der Geologie und Petrefactenkunde. Bd. II. S. 225—235.
†) Bearbeitet von Dieffenbach. Braunschweig 1853. S. 580—609.

Erwähnung. Wie viel Unentschiedenes noch vorliegt, wie manches Dunkel noch zu erhellen, wie viel Zweifelhaftes noch festzustellen ist, dies anzudeuten haben wir mehrfach Gelegenheit gehabt, und ist es wohl ein Wunder, daß es noch so steht? Sehen wir uns nach den Anfängen der wissenschaftlichen Geologie um, so finden wir, daß diese noch nicht weit hinter uns liegen. Den Nachweis hierfür zu führen und die historische Entwickelung des durch die gegebene Skizze bezeichneten Standpunktes darzulegen, dazu mögen die folgenden allerdings nicht erschöpfenden, aber doch ausreichend erscheinenden Angaben dienen.

Die Versteinerungen, namentlich die Seemuscheln, welche man auf hohen Bergen fand, gaben den ersten Anstoß zum Nachdenken. Das Studium derselben wurde am frühesten in Italien getrieben, da die meist jüngeren Formationen angehörigen Hügel zu beiden Seiten der Apenninen ungemein reich an Versteinerungen sind. Man stritt anfangs lebhaft darüber, ob diese Versteinerungen wirklich von Thieren herrührten, welche in früheren Zeiten gelebt hätten, oder ob es nicht bloße Naturspiele seien. Daß Berge aus dem Boden des Meeres gehoben sein könnten, dazu konnte und wollte man sich nicht verstehen. Nachdem schon Leonardo da Vinci die in den Felsen gefundenen Muscheln für wahre Muscheln erklärt und einen Wechsel zwischen Land und See behauptet hatte, trat im 16. Jahrhundert besonders der Veronese Fracastoro auf gegen die ungereimte Ansicht, daß eine bildende Kraft der Erde den Gesteinen organische Formen mittheile. Es scheint überflüssig den Streit zu verfolgen, der im 16., ja selbst noch im 17. Jahrhunderte hierüber geführt wurde, und bei welchem Agricola, Fallopio, Stelluti, Mercati, Olivi von Cremona und Andere Fracastoro's Gegner waren, während Mottioli, Cardan in seiner Schrift: de Subtilitate 1552, der Botaniker Cesalpinus, Simon Majoli, Palissy, Fabio Colonna für ihn kämpften. Erst 1669 kann der Streit als entschieden angesehen werden durch den Dänen Steno, der als Professor der Anatomie in Padua und später in Toscana lebte *). Er verglich die versteinerten Muscheln mit den ihnen ähnlichen lebenden Species und zeigte, daß fossile Muscheln sich vorfänden von dem einfach mineralisirten Zustande an bis zur vollkommensten Versteinerung; er bewies, daß die versteinerten Haifischzähne in der That von Haifischen herrühren mußten, eben so stellte er das Vorkommen fossiler Pflanzen fest; er unterschied bereits die Steinschichten, welche sich in salzigem und welche sich in süßem Wasser gebildet hatten, erkannte die horizontale Ablagerung der Versteinerung führenden Felsarten, ja er behauptete sogar, daß Toscana durch einen sechsfachen Zustand gegangen sein müsse und daß Ueberschwemmungen, Erdbeben und überhaupt unterirdische Feuer diese Veränderungen hervorgebracht hätten. Daß 1670 Augustino Scilla, ein Maler aus Sicilien, eine lateinische Epistel **) mit Abbildungen von Versteinerungen Calabriens herausgab, war ein glückliches Zusammentreffen. Zu derselben Zeit sprach sich in England Robert Hooke ***) dahin aus, daß in den versteinerten Muscheln eine vollständige Chronik

*) De solido intra solidum naturaliter contento. 1669.

**) De corporibus marinis lapidiscentibus.

***) Posthumous works. Lond. 1705. Vergl. auch Rud. Er. Raspe in Specimen hist. natur. globi terraquei praecipue de novis e mari natis insulis, et ex his exactius descriptis et observatis ulterius confirmanda Hookiana telluris hypothesi de origine montium et corporum petrefactorum. Amsterdam 1763.

der Erdbildung geschrieben sei und daß man nur bedauern könne, daß es die Menschen noch nicht verständen, diese Berichte der Natur zu lesen. Mit Antonio Vallisneri *) und Brander **) begannen die Fortschritte in wissenschaftlicher Untersuchung der Versteinerungen, die endlich durch Cuvier und Alexander Brongniart in geognostischer Beziehung ihren Höhepunkt erreichten ***). Außerdem verdienen an dieser Stelle einer Erwähnung die Verdienste von: de Lamarck, G. P. Deshayes, v. Schlotheim, H. R. Göppert, Goldfuß, Ehrenberg, Agassiz ꝛc., worüber die literarischen Nachweise in dem bereits oben citirten Handbuche einer Geschichte der Natur von Bronn a. a. O. zu finden sind.

Nachdem feststand, daß die Versteinerungen in der That von Außen in die Gesteine gekommen seien, mußte auch die Ansicht wankend werden, daß nur eine Fluth, die Noah'sche, alle Veränderungen auf der Erdoberfläche erzeugt habe. Wollten wir den vollständigen historischen Nachweis des Kampfes liefern, bis die geläuterten Ansichten die Oberhand behielten, so würden wir eine große Anzahl Phantasiebilder vorzuführen nicht umhin können. Lichtenberg ****) giebt eine Sammlung von 50 verschiedenen geologischen Systemen und äußert sich dahin, daß neun Zehntel zwar nicht für die Geschichte der Erde, doch für die Geschichte des menschlichen Geistes von Wichtigkeit wären. Es wird genügen einige wenige geologische Systeme anzuführen, und zwar solche, die ein gewisses Ansehen erlangt haben.

Thomas Bournet *****) ist der Erste, welcher ein vollständiges System aufstellte, welches aber im Grunde nur eine gemodelte Mosaische Schöpfungsgeschichte ist. Im flüssigen Chaos sanken die schweren Materien nieder und bildeten den Erdkern, um welchen sich das Wasser sammelte. Dann schlugen sich die erdigen und öligen Theile aus der Erde nieder. Es ward Licht, und die alte Erdrinde bildete sich über dem Wasser, aber ohne Berge und Thäler. Die Sonnenhitze trocknete die Erdrinde zu stark aus, sie zerriß nach 1600 Jahren, stürzte in das Wasser und begrub hierbei alles Lebendige auf der Erde. Dies war die Sündfluth. Die Schollen der Erdrinde wurden zu Gebirgen zusammengeschoben, das Wasser zog sich in die Abgründe zurück ꝛc. Dieses System bedarf jetzt keiner Widerlegung; es sei indessen erwähnt, daß Keil †) eine solche geliefert hat.

John Woodward ††) hatte viele Resultate aus allen Theilen der Erde gesammelt und war zu der Ueberzeugung gekommen, daß in den entferntesten Ländern ganz dieselben Verhältnisse obwalteten, wie in seinem Vaterlande; daß in Frankreich, Flandern, Holland, Spanien, Italien, Deutschland, Dänemark und Schweden die Steine und andere terrestrische Materialien ganz eben so wie in England nach Lagen und Schichten geordnet; daß diese Schichten durch parallele

---

*) De' Corpi marini che su' monti si trovano. Venedig 1721.

**) Fossilia Hantoniensia (Versteinerungen in Hampshire) 1766.

***) G. Cuvier et Alex. Brongniart: Description géologique des environs de Paris. 2 édit. in 4. 1825; 3 édit. in 8. 1836, avec un Atlas de 17 plt. in 4. Paris.

****) Göttinger Taschenbuch für 1795. S. 79: Geologische Phantasien.

*****) Telluris theoria sacra. Lond. 1681.

†) Examen theoriae telluris a Burneto editae. Oxon. 1698.

††) An Essay towards the natural history of the Earth. London 1695.

Spalten getrennt und daß in den Steinen und anderen dichten Erdarten eine große Menge von Muscheln und anderen Seeproducten ganz auf dieselbe Weise eingeschlossen sind.

Wir sehen, welch bedeutenden Schritt Woodward gethan hat; gleichwohl konnte er in seinem Systeme nicht ohne Wunder fertig werden. Durch Gottes Machtgebot wurden zur Zeit der Sündfluth die Cohäsion und Schwere aufgehoben, alle Dinge durch einander gemischt, nur die Thiere blieben in ihrem Zusammenhange und unterlagen nicht der allgemeinen Auflösung, weil sie aus Fasern bestehen, deren Cohäsion eine andere ist, als die der Mineralien. Hierauf trat die Wirkung der Schwere wieder ein, Schichten lagerten sich ab, die Thiere wurden in ihnen begraben ꝛc.

Woodward gilt als der älteste Neptunist.

William Whiston *), nach welchem die Erde aus einem Kometen entstanden ist, nahm im Erdkerne ein Centralfeuer an und dachte sich dies umgeben von einer schweren Flüssigkeit, auf welcher die Erdrinde schwamm. In der Erdrinde waren noch viele Räume mit Wasser gefüllt, welches von dem Schweife des Kometen herrührte. Wasser, Gebirge und Ebenen waren gleichmäßig über die ganze Erdfläche vertheilt; der durchwärmte Erdboden war äußerst fruchtbar und bevölkert, die Lebensdauer der Thiere und Menschen war länger als zur Jetztzeit. Da kam ein zweiter Komet in die Nähe der Erde. Aus seinem Schweife stürzten ungeheure Wassermassen herab, die Erde zerborst, indem die Anziehung des Kometen die Erdrinde emporhob, und auch aus der Tiefe stiegen neue Wasser empor. Dies war die Sündfluth, deren Eintreten er sogar auf einen Mittwoch, den 18. November des Jahres 2349 v. Chr. festsetzt. Hieraus ging die spätere unebene Gestalt der Erdoberfläche hervor. Wir brechen hier ab und bemerken nur noch, daß die Erde durch die Ausdehnung ihrer Rinde in den Stand gesetzt war, in ihren Vertiefungen nicht nur die frühere, sondern auch die durch den zweiten Kometen erhaltene Wassermasse aufzunehmen.

Aus diesen Beispielen erhalten wir eine Bestätigung dessen, was A. v. Humboldt **) sagt: „Aus unvollständigen Beobachtungen und noch unvollständigeren Inductionen entstehen irrige Ansichten von dem Wesen der Naturkräfte." Die geologischen Phantasien nicht weiter verfolgend, die allerdings selbst in neuerer Zeit noch ihre Liebhaber finden, wie z. B. der Mathematiker Gelpke zu Braunschweig, allerdings nach dem Vorgange von C. W. und C. F. L. Marschall v. Bieberstein ***) und von v. Zach ****), die Gebirge als aus dem Weltenraume auf die Erde gestürzte kleine Weltkörper ansieht *****), wollen wir in dem Folgenden einige Männer aufführen, deren Studien auf die Entwickelung der Geologie von bedeutenderem Einfluß gewesen sind.

---

*) A new Theory of the Earth. London 1696.

**) Kosmos. Bd. I. S. 17.

***) Untersuchung über den Ursprung und die Ausbildung der gegenwärtigen Anordnung des Weltgebäudes. Gießen und Darmstadt 1802.

****) Monatl. Corresp. Bd. VIII. S. 3 u. 208; Bd. X. S. 221 u. 411; vergl. auch Bd. XI. S. 341.

*****) Ueber das Urvolk der Erde, oder das Menschengeschlecht vor Adam und dessen Abstammung von einem Menschenpaare. Von Dr. Aug. Heinr. Christ. Gelpke. Braunschweig 1820. S. 63—67. — Vergl. Braunschweigisches Magazin 1817. Nr. 10.

Zu den ältesten Plutonisten gehört Leibnitz *), auch John Ray's Theorie **) ist mehr plutonisch als neptunisch. Bedeutend ist Anton Lazaro Moro ***). Nicht ohne Beifall wurde Silberschlag's Hypothese aufgenommen ****). Wallerius gehört zu den Neptunisten *****). Wrede †) stützt seine Hypothese auf eine Veränderung der Schiefe der Ekliptik; Lamarck ††) die seinige auf einen Wechsel zwischen Festland und Meer durch Fluthung und Wellenschlag und eine allmälige Richtungsänderung der Erdaxe. Besonders bedeutend wurde de Luc †††) durch seine geognostischen Studien. Er erkannte zuerst am Rhein und in der Eifel die erloschenen Vulkane. Eben so leisteten seine Zeitgenossen Saussure und Pallas, von denen Jener die Alpen und das Juragebirge, Dieser die Gebirge Sibiriens untersuchte, Bedeutendes durch Feststellung geognostischer Verhältnisse ††††).

---

*) Protogaea s. de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ipsis naturae monumentis dissertatio, lecta erud. Lipsiae 1683, und besonders herausgegeben von Scheid, Lateinisch. Göttingen 1749 und Deutsch. Leipzig 1749.

**) Physico-theological discourses. Lond. 1692.

***) De' crostacei e degli altri marini corpi, che si trovano su monti. Libri due; in Venezia 1740. Neue Untersuchungen der Veränderungen des Erdbodens von A. L. Moro, aus dem Italienischen. Leipzig 1751.

****) Geogenie oder Erklärung der mosaischen Erderschaffung nach physikalischen und mathematischen Grundsätzen. Berlin 1780 u. 1783. 3 Theile.

*****) Physisch-chemische Betrachtungen über den Ursprung der Welt, besonders der Erdwelt und ihre Veränderungen. Aus dem Lateinischen. Erfurt 1782.

†) Geologische Resultate aus Beobachtungen über einen Theil der südbaltischen Länder. Halle 1794.

††) Hydrogeologie. Aus dem Französischen von Wrede. Berlin 1805.

†††) Lettres physiques et morales cet. 1779. V. Tom. Physikalische und moralische Briefe über die Geschichte der Erde und des Menschen ꝛc. übersetzt von J. T. Gehler. Leipzig 1781. 2. Theile. Lettres sur l'histoire physique de la Terre. Paris 1779, deutsch in Lichtenb. Magaz. Bd. VIII. Geologische Briefe.

††††) Pallas berichtet (Nov. Comment. acad. Petropolit. T. XIII. p. 445; T. XVII. p. 585) von einem vollständigen, mit Haut und Haaren versehenen Kadaver des ausgestorbenen Rhinoceros tichorhinus, welcher 1771 von den Jakuten im gefrornen Sande an der Mündung des Willuji-Flusses in die Lena gefunden worden war. In die Hände von Pallas kamen nur der Kopf und die Füße. Von einem fast ganz erhaltenen und noch mit Haut bedeckten Mammuth giebt auch Gabr. Sarytschef Nachricht (Voyage dans le nord-est de la Sibérie). Die Haut war zum Theil mit langen Haaren bedeckt. — Am merkwürdigsten wurde die Entdeckung, welche im Jahre 1799 der Tungusenhäuptling Ossip Schumachoff bei der Halbinsel Taman im Polarmeere machte. (Nova acta Acad. imper. Petropol. 1815. V. 5. p. 406.) Er sah in dem hohen gegenüberliegenden Eisberge, 40 bis 50 Fuß tief unter dessen Oberfläche, einen großen Thierkörper. 1804 war das Thier völlig vom Eise losgethaut und auf eine Sandbank geworfen. Es war ein Mammuth und der Tunguse verkaufte die Stoßzähne für 50 Rubel. 1806 kam Johann Adams, Professor zu Moskau, welcher den russischen, nach China bestimmten Gesandten Golowkin begleitete, nach Jakuzk und erhielt Nachricht von dem seltenen Funde. Er reiste nach dem Orte hin und fand den Körper sehr beschädigt. Mit dem Fleische hatten die benachbarten Jakuten die Hunde gefüttert; Bären, Wölfe ꝛc. hatten gleichfalls ihren Antheil geholt. Dadurch war von dem Kopfe das eine Ohr, der Rüssel, und ein Theil der Unterlippe abgefressen, das eine Schulterblatt sehr beschädigt, das Steißbein ganz verloren gegangen, und von den 28 bis 30 Schwanzwirbeln nur noch 8 vorhanden. Nur die Seite, auf welcher das Thier lag, war unbeschädigt geblieben. Hier fanden sich ein vollständiges Ohr, die 2¼ Fuß lange Halsmähne, die langen, schwarzen, oberwärts rothbraunen Haare, dicker als Pferdehaar, und unter ihnen kürzere, krause, hellschwarze Haare und röthliches Wollhaar. Dieser unbeschä-

Eine neue Periode begann mit Werner, gest. 30. Juni 1817, der 1775 als Professor der Mineralogie bei der Berg-Akademie zu Freiberg angestellt wurde. Er ist der eigentliche Schöpfer der Geognosie. Sein System hat er zwar selbst nie vollständig durch den Druck veröffentlicht, aber durch seine zahlreichen Schüler ist es überall bekannt geworden *); nur als Einleitung zu seiner Geologie gab er ein geologisches System, welches durchaus neptunisch war **).

Nach Werner's Ansicht umgab den Erdkern eine Urflüssigkeit, welche alle Theile der Erdrinde aufgelöst enthielt. Zuerst schlug sich daraus der Granit, dann der Gneis, der Glimmerschiefer und zuletzt der Thonschiefer nieder. Nach jedem Niederschlage senkte sich der Wasserspiegel, weshalb der Granit über Alles emporragt und der Thonschiefer sich am niedrigsten hält. Später erhob sich die Flüssigkeit wieder bis zur halben Höhe der ersten Gebirge, und es erfolgten die Niederschläge des Porphyrs, Syenits ꝛc.; dann fiel abermals das Wasser schnell zur Tiefe des Thonschiefers und zerstörte auf seinem Rückzuge einen großen Theil der Urgebirge. Aus den Trümmern derselben wurden die Uebergangsgebirge theils chemisch, theils mechanisch gebildet. Nach einem langen Zeitraume der Ruhe entstand die Flötzzeit. Ein großes Naturereigniß drängte das Meer auf die Urgebirge, und dieses raubte ihnen die fruchtbare Erde und die Pflanzen. Zur Zeit dieser Revolution wurden viele Seethiere in den Trümmern begraben. — In der Flötzzeit gab es drei große Zeitabschnitte, nach denen die Bildung des aufgeschwemmten Landes erfolgte. Die Krystallisationskraft, welche bei der Bildung des Granites sich so hervorstechend gezeigt hatte, nahm allmälig ab, weshalb die späteren Formationen mehr ein blätteriges Gefüge erhielten. Die jüngste, ebenfalls durch eine Ueberschwemmung entstandene, Formation ist der Basalt, und da diese Ueberschwemmung die früheren Gebirge bedeckte, so ist er auch über dem Urgebirge, Flötzgebirge und dem aufgeschwemmten Lande gelagert.

Werner's Fehler war, daß seine Forschungen sich nicht über die Gebirge Sachsens hinaus erstreckten. Von den vulkanischen Thätigkeiten hatte er keine genaue Kenntniß, und sein System war nur auf die Lagerungsverhältnisse basirt,

---

digte Theil der Haut war so schwer, daß 10 Personen ihn nur mühsam aus Ufer tragen, hier reinigen und zum Trocknen ausspannen konnten. Der Kopf ohne Stoßzähne wog über 400 Pfund; an demselben war die Haut aufgetrocknet und das Gehirn ausgedörrt. Ob die runden, harten Körper in den Augenhöhlen die ausgetrockneten natürlichen Augäpfel waren, blieb streitig. Adams sammelte sorgfältig Knochen und Haare, und schickte sie mit der Haut und den in Jakuzk wieder aufgekauften Stoßzähnen nach Petersburg, wo sie von dem Kaiser Alexander für 8000 Rubel erkauft, in der Naturalien-Sammlung zusammengesetzt, und die fehlenden Theile durch Nachbildungen ergänzt wurden. Das Knochengerüste dieses männlichen Mammuths ist etwas über 9 Fuß hoch, von der Nase bis zum Steißbein an 16 Fuß lang; jeder Stoßzahn, mit der Krümmung gemessen, ist 9 Fuß groß und wiegt 1½ Centner. (Vergl. Geschichte der Urwelt. In Umrissen von Krüger. Quedlinburg und Leipzig 1823. Bd. II. S. 822.) — Im Februar 1841 fand Motschulski (vergl. Hamburger Correspondent. 1843. Nr. 115) an dem Ufer des Tas in Sibirien ebenfalls einen vollständigen Mammuth mit Fleisch, Haut und Haaren in der vom Wasser losgespülten, gefrornen Erde. Durch die Bemühungen des Staatsraths Ladyschewski und des Bürgers Trofemow wurden die Ueberreste nach Tobolsk und von da nach Moskau gebracht.

*) Auswahl aus den Schriften der unter Werner's Mitwirkung gestifteten Gesellschaft für Mineralogie zu Dresden. Leipzig 1819.

**) Kurze Classification und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten. Dresden 1787. Neue Theorie der Gänge. Freiberg 1791.

welche ihm zugänglich gewesen waren. Deshalb, abgesehen davon, daß er nicht versucht hat, die Kräfte nachzuweisen, welche die in seinem Systeme nöthigen Revolutionen herbeigeführt haben mußten, konnte sich sein System nicht halten. Die Bildung der Basalte veranlaßte die ersten Angriffe; es erscheint indessen nicht nöthig hier durchzuführen, wie Werner's Irrthümer aufgedeckt wurden, da jetzt darüber alle Bedenken geschwunden sind.

Der Engländer Hutton war Werner's Hauptgegner, wenigstens wurde er als der Führer von der Gegenpartei angesehen. Seine Theorie — auch nur in kurzen Umrissen — zu geben, darauf können wir hier um so mehr verzichten, da dieselbe eigentlich der oben gegebenen Skizze zu Grunde liegt; es sei daher nur bemerkt, daß durch Hutton thatsächlich der Beweis geführt wurde, daß vulkanische Kräfte bei der Gestaltung der Erdrinde eine Hauptrolle gespielt haben *).

Die Fabrikation geologischer Phantasiestücke hat durch die zahlreichen Thatsachen, welche seit dem Streite zwischen der Werner'schen und Hutton'schen Theorie gesammelt sind und deren Bedeutung von keiner Seite verkannt werden konnte, ein Ende erreicht. Gelpke's Hypothese (s. oben) erscheint noch als ein isolirter Auswuchs. Die Theorien G. F. Parrot's **) und Scip. Breislak's ***), von denen jener namentlich eine Schwefelkieslage eine bedeutende Rolle spielen läßt, dieser eine eigenthümliche Ansicht über das Latentwerden der Wärme aufstellt, welche zum Schmelzen des Erdballs in der Urzeit erforderlich war, sind in neuerer Zeit die hervortretendsten gewesen, haben sich aber ihrer unbegründeten Hypothesen wegen bei dem jetzigen Standpunkte der Geologie keine Anhänger verschaffen können. Es ist nämlich jetzt unstreitig der richtige Standpunkt für die dynamische Geologie gewonnen, daß man nicht weiter gehen dürfe, als wie weit unwiderlegliche Thatsachen einen festen Halt gewähren, und es muß anerkannt werden, daß hierzu gerade die Schüler Werner's nicht den geringsten Theil beigetragen haben. Die Arbeiten von A. v. Humboldt über die amerikanischen, nordasiatischen und theilweise europäischen Gebirge und Vulkane, L. v. Buch's Beschreibungen der Gebirge Skandinaviens, der Alpen, der kanarischen Inseln &c. enthalten die bedeutendsten Materialien. Hoffmann untersuchte die jüngeren Gebirge im nördlichen Deutschland und Italien; v. Oeynhausen, v. Dechen, de Laroche durchforschten die westphälischen, belgischen, elsaß-lothringischen, die baden-würtembergischen Gebirge; Hausmann machte geogno-

*) Transact. of the royal Society of Edinburgh 1788. T. I. p. 209—304, später besonders herausgegeben mit Erweiterungen als: Theory of the Earth, with proofs and illustrations by James Hutton. London 1795. II. vol. Der Schotte John Playfair war für die Begründung dieser Theorie besonders thätig in: Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth. Edinburgh 1802. Vergl. auch: Explication de Playfair sur la Théorie de la Terre par Hutton, et examen comparatif des systèmes géologiques fondés sur le feu et sur l'eau, par M. Murray. Par. et Lond. 1815. — Playfair wurde von de Luc angegriffen in: Traité élémentaire de Géologie. Paris 1809.

**) Grundriß der theoret. Physik. 1815. Th. III. S. 531 und ausführlicher in: Entretiens sur la Physique. Dorpat 1824. T. VI. p. 611.

***) Introduzione alla Geologia. II. Vol. Mailand 1811. Institutions géologiques cet. traduites du manuscrit italien en français par P. J. L. Campmas. III. Vol. avec un atlas de 56 planches. Milan 1818, ins Deutsche übersetzt von v. Strombeck. Sc. Breislak's Lehrbuch der Geologie. Braunschweig 1819—1821.

stische Reisen in Skandinavien und Spanien; Conybeare und J. Phillipps bearbeiteten England und Wales, Boué Ungarn, Pusch Polen und Galizien; v. Hoff sammelte die Notizen über die geschichtlichen Veränderungen auf der Erdoberfläche; Lyell lieferte manche Bereicherung in seiner Geologie; vor allen aber erscheint die Arbeit von Elie de Beaumont 1829 Epoche machend und in neuester Zeit machte sich besonders die Arbeit von G. Bischof geltend, wie selbst von seinen Gegnern erkannt wird.

C. Geogenie.

Erst in neuerer Zeit und besonders seit Hutton ist man zu der Ueberzeugung gekommen, daß der Geolog die Erde als etwas Gegebenes zu nehmen, und dessen allmälige Gestaltung nach bestimmten Gesetzen auf Grund anerkannter Thatsachen zu erforschen habe. Die Geogenie geht noch einige Schritte weiter als die Geologie zurück, indem sie den uranfänglichsten Zustand der Erde und deren ursprüngliches Verhältniß zu den übrigen Weltkörpern zu bestimmen sucht.

Die meisten geogonischen Speculationen kommen darauf hinaus, daß die Erde aus Urstoffen entstanden sei, die entweder durch Gottes Allmacht erst zur Zeit der Erschaffung der Erde erschaffen wurden, oder selbst vom Uranfange an existirten.

Die einfachste Ansicht finden wir aufgestellt in der mosaischen Schöpfungsgeschichte. Wie diese stehen auch die Geogenien der übrigen Völker des hohen Alterthums mit den religiösen Vorstellungen derselben im Zusammenhange. Hier müssen wir darauf verzichten, auf dieselben näher einzugehen. Auch die in den philosophischen Systemen der Alten, namentlich der Griechen, aufgestellten Geogenien können hier keine Stelle finden. Wir müssen uns hier mit der Bemerkung begnügen, daß in den meisten dieser Systeme die Annahme gemacht wurde, die Urstoffe seien vom Uranfange an dagewesen, wie die göttliche Kraft, und nur von dieser geordnet. Viel hierher Gehöriges enthält eine Schrift von Schweigger: Ueber die älteste Physik und den Ursprung des Heidenthums ꝛc. Nürnberg 1821; besonders aber sind die Schriften zu vergleichen, welche von der Geschichte dieses Theils der Philosophie handeln.

Im 17. Jahrhundert n. Chr. trat de Cartes oder Cartesius *) mit der Hypothese auf, daß die Welt entstanden sei aus einer einzigen chaotischen, harten Urmasse, welche durch die in dieselbe gelegte Kraft der Bewegung zersprengt sei. Hierbei habe sich der Aether aus dem durch heftige Reibung entstandenen allerfeinsten Pulver gebildet; die Sonne, die Fixsterne und die übrigen Himmelskörper aus den kugelförmigen Stücken und die Rinde der Planeten und Kometen aus den eckigen. Es scheint müßig, diese Ansicht weiter zu verfolgen.

Im Gegensatze zu der harten Urmasse des Cartesius wurde von anderen Naturforschern eine gasförmige Urmasse angenommen. Hierzu bekennt sich z. B. Lagrange **), nach dessen Ansicht sich die beim Uebergange der Erdtheile aus

---

*) Principia philosoph. Amsterd. 1685. Opp. lib. II.

**) Journ. de Physique. 1812. Maerz.

dem luftförmigen in den festen Zustand frei gewordene Wärme in das Innere der Erdkugel zurückzog.

Verwandt hiermit ist die Hypothese von Laplace *). Der Bau des Himmels erscheint bei ihm als die einfache Lösung eines großen Problems der Mechanik. Diese Hypothese nimmt, statt unserer jetzigen Sonne mit ihren Planeten und Trabanten, eine Dunstkugel von einer so ungeheuren Ausdehnung an, daß ihr Durchmesser weit über die Bahn ihrer äußersten Planeten reichte. Diese Dunstkugel besaß eine ungemein große Hitze und konnte sich nur unter allmäliger Abgabe derselben an den Himmelsraum und durch die damit nothwendig verknüpfte Zusammenziehung zu einzelnen Nebelmassen umgestalten, welche das Material zu den einzelnen Weltkörpern unseres Planetensystems enthielten. In Folge der Abkühlung und Verdichtung jener abgetrennten Nebelmasse, welche das Material zu unserer Erde enthielt, wurde ein ungeheurer Verbrennungsproceß eingeleitet, welcher die brennbaren Elemente mit dem vorhandenen Sauerstoff vereinigte, und dessen Producte wir heut zu Tage in allen Erden und Steinen eben so gut, wie im Wasser und in der Luft wiederfinden, während nur wenige, wegen geringer Verwandtschaft zu genannten Stoffen, es vorzogen, sich mit dem Wasserstoff zu vereinigen, und noch andere, wegen geringer Verwandtschaft zu beiden, isolirt und unverbunden blieben. Es mußte aber durch diesen chemischen Proceß eine Hitze erzeugt werden, welche mehr als hinreichend war, die entstandenen Verbindungen entweder zu schmelzen, oder wenn sie flüchtig waren, in Dampf zu verwandeln. Die geschmolzenen nicht flüchtigen Verbindungen flossen zu glühenden Kugeln zusammen, die flüchtigen, verdampfbaren umgaben sie als heiße Atmosphäre.

Diese Ansicht von Laplace schließt sich nun der im dynamischen Theile der Geologie gegebenen Theorie vollständig an **), wenn man voraussetzt, was wahrscheinlich ist, daß nämlich dem feurigflüssigen Zustande der Erde ein gasförmiger vorausgegangen sei. Aus der Thatsache, daß alle Planeten sich von West nach Ost um die Sonne bewegen, und daß die letztere in demselben Sinne, wie jene, nämlich gleichfalls von West nach Ost um ihre Axe rotirt, schloß Laplace auf einen gemeinsamen Ursprung aller Planeten. Ueberdies fallen die Bahnen der letzteren nahezu in die Ebene des Rotationsäquators der Sonne. Man kann nun füglich annehmen, daß die sämmtlichen Bestandtheile, welche die Körper unseres Sonnensystems constituiren, einst zu einem ungeheuren Gasballe vereinigt waren, dessen Dimensionen über das Sonnensystem hinausreichten. Diese Masse erhielt eine rotirende Bewegung von West nach Ost, so daß die Rotationsaxe auf der mittleren Ebene der späteren Planetenbahnen senkrecht stand. Durch Contraction der Theilchen nach einem mittleren Punkte hin, eine Folge verschiedener Anziehungen, entstand ein dichterer Kern, der von der übrigen Dunstmasse, wie von einer ungeheuren Atmosphäre umschlossen war, und von dieser fortwährend Theilchen zu sich heranzog. Mit zunehmender Contraction wuchs die Geschwindigkeit der Rotation, und demgemäß auch die Centrifugalkraft. Am äußeren Umfange

*) Exposition du système du monde. Paris 1808. p. 391. 5me edit. à Paris 1824. Vol. II. p. 433.

**) Vergl. Cornelius: Grundriß der physik. Geographie. Halle 1851. S. 151 ff.

des Rotationsäquators, wo Schwungkraft und Gravitation mit einander im Gleichgewichte waren, bildete sich ein Dunstring, der aber seine Rotation um den Kern fortsetzte. Dies konnte sich unter denselben Bedingungen öfter wiederholen. Die Ringe zerrissen nun entweder in mehrere Stücke, von denen jedes seine frühere Bewegung von West nach Ost um die Centralmasse beibehielt, oder das größere Stück zog die kleineren Stücke herbei, um sie mit seiner Masse zu vereinigen und dieselbe Bewegung fortzusetzen. Weil aber der äußere Theil des Ringes eine größere Geschwindigkeit als die innere hatte, so erhielt die abgesonderte Dunstmasse gleich anfänglich eine Axendrehung und zwar in demselben Sinne, in welchem ihre Bewegung um den Kern geschah. In den so entstandenen planetarischen Dunstmassen konnten sich nun auf dieselbe Weise Dunstringe von der inneren, dichteren Masse absondern und sich zu neuen sphäroidischen Nebelmassen gestalten, wodurch die Monde oder Trabanten entstanden. Es war aber auch möglich, daß einige der abgesonderten Dunstringe sich erhielten und allmälig zu einer festeren Masse wurden, wofür der Saturn ein Beispiel liefern würde.

Den vorhergehenden Betrachtungen gemäß haben wir also die Erde in ihrem anfänglichen Zustande als ein Gassphäroid zu betrachten, in sofern die bekannten Grundstoffe, aus denen sie besteht, gasförmig in einander verbreitet waren. Man hat es für wahrscheinlich gehalten, daß zur Bildung des Erdkernes die schwersten und strengflüssigsten Metalle, deren Affinität zu anderen Stoffen eben nicht groß ist, am geeignetsten gewesen sein möchten. Solche metallische Elemente aber, welche eine große Verwandtschaft zu Sauerstoff besitzen, mußten sich schon frühzeitig mit diesem verbinden. Zu derartigen Verbindungen gehören nun Kali, Natron, Kalkerde, Talkerde, Thonerde und Kieselerde; und wahrscheinlich ist auch, daß die meisten dieser strengflüssigen Stoffe sich gleich bei ihrer Bildung in tropfbarflüssiger Form um den Erdkern ablagerten. Die eben genannten Stoffe bildeten nun, in so weit sie mit einander in Berührung kamen, unter einander neue Verbindungen, in denen die Kieselerde die Rolle einer Säure spielte. So entstanden also kieselsaure Salze oder sogenannte Silikate, und Gemenge derselben.

Die große Wärmemenge, welche anfänglich mit dem Erdkörper verbunden war und seinen gasförmigen Zustand bedingte, verminderte sich allmälig, bei wachsender Contraction der Gesammtmasse, durch Ausstrahlung gegen den Himmelsraum. Sobald nun die Temperatur unter den Schmelzpunkt der Silikate herabgesunken war, bildeten diese, indem sie langsam erstarrten, eine Rinde um den flüssigen und glühenden Erdkern. Dieser Erstarrungsproceß der Silikate erfolgte aber nur sehr allmälig und zwar in den äußeren Schichten früher als in den inneren. Die Silikate, als schlechte Leiter der Wärme, konnten deshalb die vom glühenden Erdkern ausstrahlende Wärme nur langsam durchlassen, was dann natürlich wieder eine schnellere Erkältung der umgebenden Atmosphäre zur Folge hatte. Es gelten nun weiterhin alle die Betrachtungen, welche bereits im dynamischen Theile der Geologie dargelegt sind.

Der Theorie von Laplace liegt gewissermaßen die Vermuthung von William Herschel *) zu Grunde, daß die Erde und überhaupt alle Weltenkörper ihren Ursprung in Dunstmassen hätten. Die Nebelflecken nämlich, welche Herschel

*) Journ. de Phys. T. LXXV. p. 121.

mit seinem Fernrohr nicht aufzulösen vermochte, sollten die Urstoffe enthalten, aus welchen nach erfolgter Zusammenziehung Sonnen, Planeten und Kometen sich erzeugten.

J. Kant *) suchte nachzuweisen, daß die Sonnensysteme sich aus einer überall im Raume verbreiteten feinen Materie abgesondert hätten; und nach Herschel **) ist eine solche Absonderung neuer Systeme noch möglich. Die Kant'sche Ansicht, früher aufgestellt, als die von Laplace, stimmt mit dieser in vielen Hauptpunkten vollkommen überein. Doch hat Laplace die seinige selbstständig aufgestellt und weiter ausgebildet.

Unter verschiedenen anderen Hypothesen, die freilich nur noch ein historisches Interesse haben, heben wir hier noch einige der namhaftesten hervor.

Nach Leibnitz (s. seine Protogaea) sind alle Planeten, und also auch die Erde brennende Sonnen gewesen.

Nach W. Whiston ist die Erde ein umgewandelter Komet. Auch v. Gruithausen ***) nimmt dies an.

Büffon ****) betrachtet die Erde und übrigen Planeten als ein Stück der Sonne selbst, abgeschlagen durch einen schief auffallenden Kometen. Die leichtesten Theile dieses Stücks entfernten sich hierbei am weitesten; durch die der Materie inwohnende Anziehungskraft vereinigten sie sich aber zu kugelförmigen Körpern, und die Anziehung der Sonne bestimmte die Bahnen der auf diese Weise entstandenen Planeten.

Nicht allein die Geogenie, sondern auch die dynamische Geologie, ungeachtet sich diese auf die Geognosie stützt, die ihrerseits auf Autopsie beruht, wird wohl stets in ihren wesentlichsten Theilen hypothetisch bleiben. Das aber versteht sich von selbst, daß die Frage nach dem Ursprung der die Erde und die Weltkörper überhaupt constituirenden (einfachsten) Grundelemente nicht in das Gebiet eigentlicher Naturforschung, sondern höchstens nur in das des Glaubens gehört. H. E.

Geothermometer, s. Thermometer.

Geruch, s. Riechen.

Geschmack, s. Schmecken.

Geschmeidigkeit, s. Dehnbarkeit.

Geschwindigkeit, s. Bewegung und Mechanik.

Gesicht, s. Sehen.

Gestirne, s. Fixsterne.

Getriebe, s. Räderwerk.

Gewicht, absolutes, (lat. pondus, franz. poids, engl. weight) ist der Druck, den ein Körper vermöge seines Strebens zu fallen auf einen anderen, der ihn unterstützt, z. B. auf eine feste Unterlage ausübt. Zu diesem Drucke, der bei ungleich-

---

*) Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels. 1775. 4. Aufl. 1818.

**) Ueber den Bau des Himmels. Königsberg 1791.

***) Ueber die Natur der Kometen, mit Reflexionen auf ihre Bewohnbarkeit und Schicksale. München 1811.

****) Histoire naturelle générale et particulière. Paris 1749. T. XV. Vol. I., besonders Supplem. Vol. IX. u. X. Paris 1778. — Traité des minéraux. Paris. Vol. I. 1724. Vol. II. 1783. Vol. III. 1785. Eine Widerlegung findet sich von la Place in: Syst. du monde Vol. II. p. 430.

artigen Körpern verschieden ist, giebt jedes kleinste Massentheilchen eines Körpers seinen Beitrag, so daß das Gewicht der Anzahl solcher Theilchen oder der Masse proportional ist. Dasselbe ist aber auch proportional der Intensität der Schwere an dem Orte, wo der Körper sich befindet, und wenn man nun die Beschleunigung der Schwere, wie gewöhnlich, durch g, die Masse des Körpers durch M und das Gewicht des letzteren durch P bezeichnet, so hat man $P = g M$.

Die Bestimmung des Gewichts verschiedener Körper geschieht mittelst der **Wage** (s. d. Art.). Um aber das Gewicht in absolutem Maße ausdrücken zu können, sind bestimmte Normal-Gewichtseinheiten (Pfunde, Grammen ꝛc.) erforderlich.

Die allgemeinste Verbreitung, besonders in der naturwissenschaftlichen Welt, hat das französische Maß- und Gewichtsystem gefunden. Man hat nämlich das Meter als den zehnmillionsten Theil des Meridianquadranten von Paris zur Längeneinheit angenommen und dasselbe 10theilig in Decimeter, Centimeter und Millimeter eingetheilt. Das Gewicht eines cubischen Centimeters destillirten Wassers, bei seiner größten Dichtigkeit, d. i. bei einer Temperatur von 4°,4 C. ist die angenommene Gewichtseinheit und führt den Namen Gramme. Man hat nun

Kilogramme		Hectogr.		Decagr.		Gramme		Decigr.		Centigr.		Milligr.
1	=	10	=	100	=	1000	=	10000	=	100000	=	1000000
		1		10		100		1000		10000		100000
				1		10		100		1000		10000
						1		10		100		1000
								1		10		100
										1		10

Folgende kleine Tabelle dient, die Gewichte verschiedener Länder mit dem Grammgewichte zu vergleichen.

Größe verschiedener Gewichte.

Baden	1 Pfund	=	500,000	Grm.
Bayern	1 „	=	560,000	„
Bremen	1 „	=	498,500	„
Dänemark . . .	1 „	=	499,309	„
Avoir du poids . .	1 „	=	453,597	„
Troy-Gewicht . .	1 „	=	373,244	„
Frankfurt	1 „	=	467,914	„
Hamburg	1 „	=	484,170	„
Lübeck	1 „	=	484,725	„
Oesterreich . . .	1 (Wien.)	=	560,012	„
Oldenburg . . .	1 Pfund	=	480,367	„
Preußen	1 „	=	467,711	„
Rußland	1 „	=	409,520	„
Sachsen	1 (Leipz.)	=	467,214	„
Schweden	1 (Schal.)	=	425,339	„
Würtemberg . . .	1 Pfund	=	467,728	„

Das Zollgewicht des Zollvereins, das Pfund in Sachsen, Hessen-Darmstadt und der Schweiz ist wie in Preußen = $^1/_2$ Kilogramm. — Anhalt, Braun-

schweig, Hannover, Hessenkassel, Mecklenburg-Strelitz, Weimar und Frankfurt am Main (neues Pfund) haben das Pfund wie Preußen; Mecklenburg-Schwerin wie Lübeck; Nassau wie Frankfurt, Norwegen wie Dänemark.

Weiteres über diese und andere Gewichtsvergleichungen im Art. Maß.

Da die Intensität der Schwere (siehe diesen Artikel) sich verändert, wenn man von dem Aequator nach den Polen oder im umgekehrten Sinne fortschreitet, oder sich über die Erdoberfläche erhebt, so muß auch das Gewicht der Körper eine entsprechende Veränderung erleiden. Doch kann man von den hierauf bezüglichen Correcturen bei der Gewichtsbestimmung der Körper absehen, wenn die Wägung auf einer hebelartigen Wage vorgenommen wird, insofern die Aenderung der Schwere das Gewicht und den abzuwägenden Gegenstand gleichmäßig trifft.

Jeder Körper verliert überdies im lufterfüllten Raume so viel von seinem Gewichte, als die von ihm verdrängte Luft wiegt. Es muß deshalb das Gewicht der letzteren zu dem des Körpers hinzugefügt werden, falls es sich um eine genaue Gewichtsbestimmung handelt. Hierbei ist denn auch, um das Gewicht der verdrängten Luft zu ermitteln, auf den Barometer-, Thermometer- und Hygrometerstand der Luft Rücksicht zu nehmen.

Bessel *) hat die Reductionen, vermöge welcher man aus den unmittelbaren Abwägungen in der umgebenden Luft das wahre Gewicht und aus den Wägungen im destillirten Wasser die specifische Schwere des Körpers erhält, in eine logarithmische Tafel gebracht, welche wir nebst der Ableitung derselben hier geben wollen.

Bezeichnet Δ die Dichtigkeit des Körpers bei 0° C. für Wasser im Maximum der Dichtigkeit als Einheit, M seine Masse, 1 : 2 das Verhältniß seiner Dimensionen bei 0° und der Temperatur, bei welcher die Wägung geschieht, so füllt er den Raum

$$= \frac{M}{\Delta} R^3$$

aus, und verdrängt von einer Flüssigkeit, deren specifische Schwere Q, eine Masse

$$\frac{M}{\Delta} R^3 . Q$$

zieht also an einem Arm der Wage mit einer Kraft

$$M\left(1 - \frac{R^3 Q}{\Delta}\right).$$

Haben für das Gewicht die kleineren Buchstaben dieselbe Bedeutung, so zieht das Gewicht m am anderen Arme mit der Kraft $m\left(1 - \frac{r^3 q}{\delta}\right)$. Sind beide im Gleichgewicht, so wird

$$M\left(1 - \frac{R^3 Q}{\Delta}\right) = m\left(1 - \frac{r^3 q}{\delta}\right).$$

*) Schuhmacher's astronomische Nachrichten. Bd. VII. Nr. 163. Dove, Repertor. der Physik. Bd. I. S. 13.

Geschieht die Wägung in der Luft, so wird $Q = q$, also

$$M\left(1 - \frac{R^3 q}{\Delta}\right) = m\left(1 - \frac{r^3 q}{\delta}\right).$$

Geschieht die Wägung in destillirtem Wasser, dessen Dichtigkeit Q sein mag, bei einer Temperatur, die sowohl in Beziehung auf das Wasser, als auch in Beziehung auf die Luft von der Temperatur bei der ersten Wägung verschieden sein kann, und bezeichnen m_1, r_1, q_1, R_1, die für die zweite Wägung geänderten Werthe von m, r, q, R; so wird

$$M\left(1 - \frac{R_1^3 Q}{\Delta}\right) = m_1\left(1 - \frac{r_1^3 q_1}{\delta}\right)$$

und wenn man statt $\frac{r^3 q}{\delta}$ und $\frac{r_1^3 q_1}{\delta}$, i und i_1 schreibt, durch Elimination von M

$$\frac{m(1-i)}{1 - \frac{R^3 q}{\Delta}} = \frac{m_1(1-i_1)}{1 - \frac{R_1^3 q}{\Delta}}$$

also $\Delta = \dfrac{m R_1^3 Q (1-i) - m_1 R^3 q (1-i_1)}{m(1-i) - m_1(1-i_1)}$.

Setzt man $J = \frac{R^3 q}{\Delta}$, so erhält man, sobald Δ bekannt ist, aus der ersten Gleichung

$$M = m\,\frac{1-i}{1-J}.$$

Ausdrücke, bei denen man bei allen Wägungen, außer den von elastischen Flüssigkeiten, nur die erste Potenz von i zu berücksichtigen braucht.

Nach Brisson's von Hällström berechneten Versuchen ist 13,59606 die specifische Schwere des Quecksilbers, $\frac{1}{10475{,}6}$ die Dichtigkeit der Luft bei $0^m{,}76$ Druck und 0^0 C. Temperatur für Quecksilber als Einheit, also $\frac{13{,}59606}{10475{,}6} = \frac{1}{770{,}488}$ die Dichtigkeit der Luft unter denselben Bedingungen für Wasser als Einheit. Bei dem in Pariser Linien gemessenen auf 0^0 reducirten Barometerstand b und der Temperatur t ist also die Dichtigkeit q der Luft.

$$q = \frac{1}{770{,}488} \cdot \frac{b}{0{,}76 \times 433{,}296} \cdot \frac{1}{1 + t \times 0{,}00375}$$

$$= \frac{b}{259581\,(1 + t \times 0{,}00375)}.$$

Für Messinggewichte, deren Dichtigkeit $\delta = 8{,}4$ und Linearausdehnung für einen Grad C = 0,000018785, wird

$$i = \frac{r^3 q}{\delta} = \frac{(1 + t \times 0{,}000018785)^3\, b}{8{,}4 \times 259581\,(1 + t \times 0{,}00375)}.$$

Setzt man $\alpha = \frac{(1 + t \times 0{,}000018785)^3}{8{,}4 \times 259581\,(1 + t \times 0{,}00375)}$,

so findet man für die Bestimmung von $i = \alpha\, b$

$$i_1 = \alpha_1\, b_1$$

log. α in der ersten Columne für Centesimalgrade von 0^0 bis $+ 25^0$ für die Temperaturen t und t_1 und die Barometerstände b und b_1 der beiden Wägungen.

Da $J = \frac{R^3\, q}{\Delta}$, so wird, wenn k die Linearausdehnung des ganzen Körpers bedeutet

$$J = \frac{b\,(1 + t\,k)^3}{259581\,(1 + t \times 0{,}00375)\,\Delta},$$

oder wenn $\beta = \frac{1}{259581\,(1 + t \times 0{,}00375)}$,

$$J = \frac{\beta\, b\,(1 + t\,k)^3}{\Delta},$$

wo für β die Temperatur t in der zweiten Columne gefunden wird.

Mit diesen beiden Columnen kann M gefunden werden, wenn Δ bekannt ist. Soll aber diese Dichtigkeit durch eine Wägung in Wasser gefunden werden, so enthält die dritte Columne die Logarithmen der specifischen Schwere Q des Wassers (für das Maximum der Dichtigkeit als Einheit, nach den Versuchen von Hällström *). Daraus ergiebt sich also

$$\log. R_1^3\, Q = \log. Q + 3 \log. (1 + t\,k)$$
$$\log. R^3\, q = \log. b + 3 \log. (1 + t\,k) + \log. \beta$$
$$\log. i = \log. \alpha + \log. b$$
$$\log. i_1 = \log. \alpha_1 + \log. b_1,$$

zur Bestimmung der Quantitäten in den Näherungsformeln

$$\Delta = \frac{m}{m - m_1} R_1^3 Q - \frac{m_1}{m - m_1} R^3 q + \frac{m\, m_1}{(m - m_1)} 2 - Q\,(i_1 - i)$$

und $M = m + m\,J - m\,i$.

Will man die größtmöglichste Genauigkeit erhalten, so wird man statt der angenommenen Dichtigkeit des Messings $= 8{,}4$ diese durch eine Wägung im Wasser selbst bestimmen. Bringt man dann das Gewicht m im Wasser mit dem Gewicht m_1 in der Luft ins Gleichgewicht, so wird, wenn δ die Dichtigkeit der Gewichtsstücke

$$\left(1 - \frac{R^3\, Q}{\delta}\right) = m_1 \left(\frac{r_1^3\, q_1}{\delta}\right)$$

also $$\delta = \frac{m\, r^3\, Q - m_1\, r_1^3\, q_1}{m - m_1}.$$

Die vierte Columne enthält den Logarithmus von $r^3\, Q$. Außerdem ist

$$\log. r_1^3\, q_1 = \log. \alpha + \log. b + \log. 8{,}4.$$

Sobald δ bekannt ist, hat man daher der ersten Columne der Tafel die beständige Verbesserung $0{,}92428 - \log. \delta$ hinzuzufügen.

*) Poggend. Ann. Bd. I. S. 163.

Tafel zur Reduction der Abwägungen.

Therm. C.	log. α		log. β		log. Q		log. r^3 Q	
0°	3,66145	160	4,58573	162	9,9999530	+ 201	0,9999530	+ 446
1	3,65985	160	4,58411	163	9,9999731	+ 146	9,9999976	+ 390
2	3,65825	159	4,58248	161	9,9999877	+ 89	0,0000366	+ 334
3	3,65666	158	4,58087	161	9,9999966	+ 32	0,0000700	+ 277
4	3,65508	158	4,57926	160	9,9999998	— 20	0,0000977	+ 225
5	3,65350	157	4,57766	159	9,9999978	— 75	0,0001202	+ 169
6	3,65193	156	4,57607	159	9,9999903	— 132	0,0001371	+ 113
7	3,65037	156	4,57448	159	9,9999771	— 186	0,0001484	+ 58
8	3,64881	156	4,57289	158	9,9999585	— 238	0,0001542	+ 7
9	3,64725	154	4,57131	157	9,9999347	— 292	0,0001549	— 47
10	3,64571	155	4,56974	156	9,9999055	— 345	0,0001502	— 110
11	3,64416	153	4,56818	157	9,9998710	— 397	0,0001402	— 153
12	3,64263	153	4,56661	155	9,9998313	— 451	0,0001294	— 206
13	3,64110	153	4,56506	155	9,9997862	— 503	0,0001043	— 258
14	3,63957	153	4,56351	155	9,9997359	— 554	0,0090785	— 309
15	3,63804	151	4,56196	154	9,9996805	— 602	0,0000476	— 357
16	3,63653	150	4,56042	153	9,9996203	— 656	0,0000119	— 412
17	3,63503	151	4,55889	153	9,9995547	— 707	9,9999707	— 462
18	3,63352	150	4,55736	152	9,9994840	— 756	9,9999245	— 512
19	3,63202	149	4,55584	152	9,9994084	— 807	9,9988733	— 562
20	3,63053	149	4,55432	151	9,9993277	— 853	9,9998171	— 608
21	3,62904	148	4,55281	151	9,9992424	— 906	9,9997563	— 662
22	3,62756	148	4,55130	150	9,9991518	— 952	9,9991901	— 707
23	3,62608	147	4,54980	150	9,9990566	— 1002	9,9996194	— 757
24	3,62461	147	4,54830	149	9,9989564	— 1051	9,9995437	— 807
25	3,62314		4,54881		9,9988513		9,9994630	

Specifisches Gewicht. Die Vergleichung der absoluten Gewichte ungleichartiger Körper von gleichen Voluminibus führt zum Begriff des specifischen Gewichts. Für das absolute Gewicht P eines Körpers von der Masse M und dem Volumen V hat man die Formel $P = gM$ (s. Gewicht, absolutes) oder wenn man die in der Einheit des Volumens enthaltene Masse des Körpers durch D bezeichnet, $P = gDV$, weil dann $M = DV$ ist. Für einen anderen Körper von demselben Volumen V, dessen Masse in der Volumeneinheit aber D′ ist, hat man eben so $P' = gD'V$, und demnach $P : P' = gDV : gD'V = gD : gD'$ (1). Setzt man nun $gD = S$ und $gD' = S'$, so erscheint

$$P : P' = S : S'$$

oder

$$\frac{P'}{P} = \frac{S'}{S},$$

so daß für $S = 1$, $S' = \frac{P'}{P}$ das specifische Gewicht des zweiten Körpers ist.

Dasselbe ist also nichts Anderes als die Verhältnißzahl des absoluten Gewichts eines Körpers zu dem eines anderen bei gleichem Volumen. Zufolge der Proportion (1) hat man aber auch $P : P' = S : S' = D : D'$, d. h. die specifischen Gewichte der Körper verhalten sich wie ihre Dichtigkeiten. Setzt man die Dichte des destillirten Wassers bei einer gewissen Temperatur = 1 und nimmt man ein bestimmtes Volumen (Cubikcentimeter) als Volumeneinheit an, so fallen die Zahlen, welche die Dichtigkeiten ausdrücken, mit denen zusammen, welche die specifischen Gewichte angeben. Der Unterschied zwischen dem specifischen Gewichte und der Dichtigkeit ist nicht zu verkennen.

Die Dichte bezieht sich nämlich allein auf die Masse, d. h. auf den Grad der Raumerfüllung der Materie, das specifische Gewicht dagegen auf Masse und Schwere zugleich. Dies berücksichtigt kann man wohl auch sagen, das specifische Gewicht der Körper sei ein Ausdruck des Verhältnisses ihres absoluten Gewichtes zu ihrem Volumen und die Dichte der Ausdruck des Verhältnisses ihrer Masse zu ihrem Volumen. Das Gewicht ist nun proportional der Masse und darum auch ein Körper im Vergleich zu einem anderen bei gleichem Volumen um so viel mal schwerer, als seine Masse größer als die des anderen Körpers ist.

Aus der Proportion $S : S' = D : D'$ folgt $S' = \frac{D'}{D} S$.

Kennt man nun das specifische Gewicht S des Wassers bei einer bekannten Volumeneinheit, so läßt sich nach dieser Formel leicht das Gewicht eines anderen Körpers von bestimmtem Volumen berechnen, falls dessen Dichte D' gegeben ist. Nimmt man z. B. den preußischen Cubikfuß als Volumeneinheit an, so ist das Gewicht eines solchen Cubikfußes Wasser = 66 preußische Pfund. Sucht man nun das Gewicht eines preuß. Cubikfußes Quecksilber, so hat man, wenn die Dichte D des Wassers = 1 und $D' = 13{,}5$ ist, $S' = \frac{13{,}5}{1} . 66 = 891$ preuß. Pfund.

Sind das absolute und specifische Gewicht eines Körpers bekannt, so läßt sich daraus auch leicht das Volumen des Körpers berechnen, da sich die specifischen Gewichte einmal wie die Dichtigkeiten und dann auch umgekehrt wie die Volumina V und V' verhalten, also $S : S' = D : D' = V' : V$,

$$V' = \frac{S}{S'} V.$$

Man wendet dieses Verfahren sehr oft in der Physik an zur Bestimmung des Inhaltes von Gefäßen, indem man dieselben mit Quecksilber oder Wasser füllt und aus dem absoluten und specifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten den Raum, den sie ausfüllen, bestimmt.

Die einfachste Relation zwischen dem absoluten Gewicht, dem specifischen und dem Volumen gewährt die Gleichung $P = g D V = S V$.

Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper. Dasselbe läßt sich nach der Formel $S = \frac{P}{V}$ ermitteln, wenn man aus dem Körper eine regelmäßige Gestalt, z. B. einen Würfel bildet, dessen absolutes Gewicht P sich mittelst der Wage bestimmt. Aus der bekannten Seitenlänge des Würfels

ergiebt sich dessen Volumen V und durch Division desselben in das absolute Gewicht P auch leicht das specifische Gewicht. Diese Methode hat jedoch, da der betreffende Körper nicht immer in hinreichender Masse vorhanden ist und wegen der Schwierigkeit in der Anfertigung eines regelmäßigen Körpers nur geringe praktische Bedeutung.

Die übrigen Methoden, das specifische Gewicht starrer Körper zu bestimmen, gründen sich meist auf das Archimedische Princip, nach welchem ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper so viel an seinem absoluten Gewichte verliert, als das verdrängte Volumen Flüssigkeit wiegt. Sind das absolute Gewicht P des Körpers und das absolute Gewicht p eines gleichen Volumens Wasser bekannt, so ist das specif. Gewicht des Körpers $S = \frac{P}{p}$.

Die gewöhnlichste Art das specifische Gewicht fester Körper zu bestimmen, geschieht mittelst der hydrostatischen Wage. Man kann hier auf zweierlei Weise verfahren. Die erste Verfahrungsweise ist folgende. Man nimmt eine gewöhnliche empfindliche Wage, wie sie zu chemischen Zwecken gebraucht wird, und bringt statt der einen Wagschale eine viel kürzer aufgehängte an, an deren Unterseite ein Häkchen angebracht ist. Der Körper, dessen Dichtigkeit bestimmt werden soll, wird an ein Pferdehaar oder einen sehr feinen Platindraht geschleift und an dem Häkchen der kurz aufgehängten Wagschale befestigt, und durch Auflegen von Gewichten auf die andere das absolute Gewicht des Körpers bestimmt; dasselbe sei = P. Darauf wird der Körper in ein untergesetztes Gefäß mit Wasser von bekannter Temperatur getaucht, so daß er an dem Haare hängend, frei in der Flüssigkeit schweben kann. Jetzt wird nun die Wage nicht mehr im Gleichgewicht bleiben, weil der Körper im Wasser einen Theil seines Gewichts verloren hat. Um das verlorene Gleichgewicht wieder herzustellen, muß man einen Theil p der Gewichte, der gleich dem Gewichte der verdrängten Wassermasse ist, von der mit Gewichten belasteten Schale hinwegnehmen. p wird also das Gewicht einer Wassermasse sein, deren Volumen gleich ist dem des fraglichen Körpers. Da nun bei gleichen Voluminibus die Dichtigkeiten und die specifischen Gewichte sich verhalten, wie die absoluten Gewichte, so wird, wenn man das specif. Gewicht des Wassers = 1 annimmt, das specif. Gewicht des fraglichen Körpers sein:

$$S = \frac{P}{p}.$$

Eine andere Methode, das specif. Gewicht starrer Körper mit Hülfe der Wage zu bestimmen, ist folgende, schon oft gebrauchte. An einem Glasgefäße mit hinreichend weiter Oeffnung, um den betreffenden Körper hineinbringen zu können, ist der Rand völlig eben und matt abgeschliffen, so daß das Gefäß durch eine auf den Rand gelegte möglichst ebene und matte Glastafel gehörig verschlossen werden kann. Dieses Gefäß füllt man mit destillirtem Wasser so weit, daß es über dem Rande eine convexe Oberfläche bildet, sucht dessen Temperatur, und schiebt dann die Glastafel von der Seite her über den Rand, wodurch das überflüssige Wasser abgestrichen und zugleich verhindert wird, daß sich Luftblasen unter der Tafel bilden. Nachdem man das Gefäß überall sorgfältig abgetrocknet, bringt man es auf die eine Schale einer empfindlichen Wage und legt auf die andere Schale so viele Gewichte, als zur Herstellung des Gleichgewichts erforderlich ist. Legt man nun

auch den betreffenden Körper neben das Glas und auf die andere Schale so viel Gewicht, bis die Zunge wieder einspielt, so giebt das letztere das absolute Gewicht des Körpers zu erkennen. Hierauf nimmt man das Glas und den Körper von der Wage hinweg und thut den letzteren in das erstere. Der Körper verdrängt nun eine seinem Volumen entsprechende Wassermasse aus dem Gefäße. Jetzt schiebt man den Deckel wie vorher auf das Glas, putzt das ausgeflossene Wasser sorgfältig ab und bringt, wenn sich unter dem Deckel keine Luftblasen zeigen, das Glas abermals auf die Wage. Da das Glas nunmehr so viel Wasser weniger enthält, als der Körper verdrängt hat, so wird das vorige Gleichgewicht an der Wage gestört sein, und man muß, um es wieder herzustellen, entweder von der anderen Schale Gewichte hinwegnehmen, oder neue neben das Glas legen. Dieses hinweggenommene oder hinzugelegte Gewicht p ist das Gewicht der vom Körper verdrängten Wassermasse, deren Volumen gleich ist dem des Körpers. Das specif. Gewicht des letzteren ist dann wieder $\frac{P}{p}$.

Sollte der Körper im Wasser schwimmen, so tarirt man zugleich ein hinreichend großes Bleigewicht mit, um dasselbe nachher auf den Deckel des Glases zu legen, wodurch der Körper genöthigt wird vollständig einzutauchen.

Das specifische Gewicht poröser Körper ist nicht ohne Schwierigkeit zu bestimmen, da in deren Poren eine beträchtliche Adhäsion und Verdichtung von Luft stattfindet. Man suchte diese Fehlerquelle durch längeres Auskochen der Körper zu beseitigen.

G. Rose *) stellte eine Reihe von Versuchen über die Fehler an, welche in der Bestimmung des specifischen Gewichts der Körper entstehen, wenn man dieselben im Zustande feinster Vertheilung wägt. So untersuchte er Gold und Silber im geschmolzenen, zusammengepreßten und im pulverförmigen Zustande, im letzteren, wie ihn die chemische Fällung lieferte. Die erhaltenen Resultate waren so abweichend, daß er sich veranlaßt sah, diese Versuche auch bei anderen Körpern, einem specifisch schwereren und einem specifisch leichteren, wozu er das Platin und den schwefelsauren Baryt wählte, zu wiederholen. Aus den Versuchen ergab sich, daß die Bestimmungen des specifischen Gewichts stets höher ausfallen, wenn der Körper als chemischer Niederschlag in fein vertheiltem Zustande, als wenn er in größeren Krystallen oder derben Massen gewogen wird, und daß im ersteren Falle mit der größeren Feinheit des Pulvers auch das specif. Gewicht steigt.

Da nun beim Golde und Silber die Krystallform der geschmolzenen Metalle und ihrer chemischen Niederschläge vollkommen dieselbe ist, so ergiebt sich, daß, wenn auch das specif. Gewicht der chemischen Niederschläge höher gefunden wurde, als das der geschmolzenen Metalle, es deshalb noch nicht wirklich höher ist, sondern daß dies anscheinend höhere Gewicht nur eine Folge der größeren Vertheilung der Masse ist. Der Grund dieser Erscheinung kann nach Rose nur darin gesucht werden, daß die Körper in sehr fein vertheiltem Zustande die Fähigkeit haben, das Wasser zu verdichten. Man wägt also im Wasser nicht den Körper allein, sondern mit einer Hülle von verdichtetem Wasser, und erhält auf diese Weise für

*) Poggend. Ann. Bd. LXXIII. S. 1. Vergl. auch Osann ebenda S. 605.

den Verlust im Wasser eine niedrigere, und bei der Division in das absolute Gewicht des Körpers für das specif. Gewicht desselben eine höhere Zahl.

Eine Methode, das Volumen und dadurch das specifische Gewicht pulverförmiger Körper zu bestimmen, gründete H. Say auf eine Anwendung des Mariotte'schen Gesetzes. Später sind Apparate auf dieselbe Methode gestützt von verschiedenen Physikern, namentlich von Leslie, Kopp und Regnault in Vorschlag gebracht worden. Man sehe darüber den Artikel Volumenometer.

Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes starrer Körper kann man sich nun auch gewisser Aräometer bedienen, worüber der Artikel Aräometer (Bd. I. S. 278. 282. 283. 285) nachzusehen ist.

Verschiedene Körper, als Salze, Gummi ꝛc. sind im Wasser auflöslich, und können daher in dasselbe nicht eingetaucht werden. In diesem Falle wäge man sie in einer anderen Flüssigkeit von bekanntem specifischen Gewicht s', worin sie nicht löslich sind, und bestimme den Gewichtsverlust = p'. Man erhält alsdann die Proportion $p : p' = 1 : s'$; wenn p den Gewichtsverlust in Wasser bezeichnet, und man findet hiernach das specifische Gewicht des fraglichen Körpers

$$s = \frac{P s'}{p'},$$

wenn P das absolute Gewicht des Körpers bezeichnet.

Sollte man keine passende Flüssigkeit finden können, so bedient man sich am besten des Volumenometers (s. d. Art.).

Bestimmung des specifischen Gewichts flüssiger Körper. Das specifische Gewicht und die Dichtigkeit flüssiger Körper kann man sowohl mittelst der hydrostatischen Wage als auch mittelst der Aräometer bestimmen.

Die Bestimmung des specifischen Gewichts der Flüssigkeiten vermittelst der hydrostatischen Wage, beruht auf dem Grundsatze, daß die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten bei gleichem Volumen sich wie die absoluten Gewichte verhalten, und daß das absolute Gewicht eines gewissen Volumens einer jeden Flüssigkeit durch den Gewichtsverlust eines beliebigen, in dieselbe eingetauchten festen Körpers von gleichem Volumen gefunden wird. Man hängt deshalb an die eine Wagschale der Wage einen birnförmigen Glaskörper und tarirt diesen so, daß die Wage wieder im Gleichgewicht steht. Dann senkt man diesen Körper in destillirtes Wasser, und weil er hierdurch so viel an Gewicht verliert, als das Volumen des durch ihn verdrängten Wassers beträgt, so legt man auf die Wagschale, woran er hängt, dieses Gewicht = P auf, bis die Wage wieder im Gleichgewicht ist. Hiernächst zieht man die Wage wieder in die Höhe, trocknet den birnförmigen Körper rein ab, hängt ihn wieder an die Wagschale, nimmt von dieser das Gewicht = P herab, und läßt die Wage wie vorher wieder genau einstehen; dann senkt man den Glaskörper in die zu bestimmende Flüssigkeit, wobei für die Herstellung des Gleichgewichts nothwendig ist, ein Gewicht = p auf die Wagschale zu legen, und es ergiebt sich von selbst, daß das specifische Gewicht der Flüssigkeit

$$s = \frac{p}{P} \text{ ist.}$$

Es bedarf wohl kaum der Bemerkung, daß auch mit diesem Apparate die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten gefunden werden könne, wie dies durch

Hällström geschehen ist. Eben so folgt aus den angestellten Betrachtungen von selbst, daß das so eben beschriebene Verfahren vorzüglich geeignet ist, um das absolute Gewicht eines gegebenen Volumens Wasser zu finden, worauf dann die Gewichte aller übrigen Flüssigkeiten reducirt werden können. Zu diesem Ende darf man nur einen genau gearbeiteten festen Körper, wozu man meistens einen Würfel oder Cylinder wählt, in das Wasser herabsenken und seinen Gewichtsverlust suchen, so ist hiermit das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser gegeben.

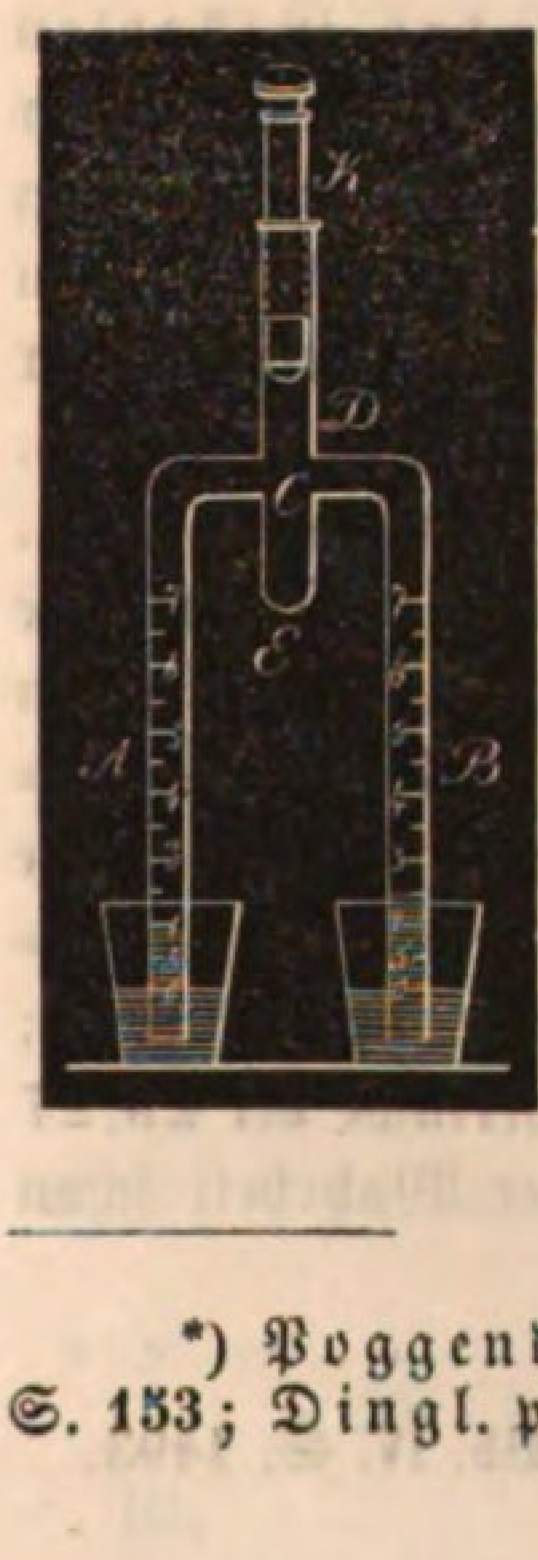
Auch auf folgende Weise kann man mittelst der Wage das specifische Gewicht von Flüssigkeiten bestimmen. Man bedient sich eines Glasgefäßes mit genau abgeschliffenem Rande, auf den ein ebener Deckel paßt, oder eines solchen, das durch einen eingeriebenen Stöpsel, den man beim Gebrauch immer zu gleicher Tiefe einsenken muß, verschlossen werden kann. Glas und Deckel werden auf die Wage gebracht und tarirt. Dann wird das Glas mit destillirtem Wasser gefüllt, sorgfältig abgetrocknet und gewogen. Dies Gewicht, das man sich künftiger Wägungen halber ein für allemal merken kann, ist = P. Man gieße nun das Wasser aus, trockne das Glas in- und auswendig ab, und fülle es mit der Flüssigkeit, deren Gewicht bestimmt werden soll. Nachdem der Deckel aufgeschoben oder der Stöpsel eingesetzt und alles rein abgetrocknet worden ist, wiege man abermals, so erhält man das absolute Gewicht der im Glase enthaltenen Flüssigkeit = p und hierdurch

$$s = \frac{p}{P}.$$

Häufig wendet man bei diesem Verfahren Fläschchen an, die bei einer gewissen Temperatur gerade 1000 Gran fassen.

Die Methode, das specif. Gewicht von Flüssigkeiten mittelst verschiedener Aräometer zu bestimmen, ist näher im Art. Aräometer beschrieben.

Alexander *) hat zur Bestimmung des specifischen Gewichts von tropfbaren Flüssigkeiten einen Apparat unter dem Namen Hydrometer in Vorschlag gebracht, der im Wesentlichen aus zwei Gefäßbarometern mit einer kleinen Luftpumpe verbunden besteht. Unter den beiden Einrichtungen, welche Alexander diesem Apparate gegeben hat, ist folgende die zum Gebrauche bequemste und wohlfeilste. Die beiden Röhren A und B, das Verbindungsrohr C und der Stiefel G der Luftpumpe sind von Glas und in ein Stück zusammengeblasen. Die Kolbenstange K ist von Holz und der Kolben selbst aus zusammengepreßten Scheiben von Leder gebildet. Mittelst des hohlen Zapfens E läßt sich das Instrument bei dem Gebrauche irgendwie auf einem Stativ oder an einer Wand befestigen. Die beiden Glasröhren tragen außen eine Theilung in Linien oder halbe Linien auf dem Rohre selbst. Bei dem Gebrauche des Instruments füllt man das eine Gläschen unten mit destillirtem Wasser, das andere mit der zu untersuchenden Flüssigkeit,



*) Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 137; Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXIV. S. 153; Dingl. polytechn. Journ. Bd. XCIX. S. 97.

zieht den Kolben K langsam in die Höhe und verdünnt somit die Luft in dem Stiefel D, dem Gefäße C und den beiden Röhren A und B über dem Niveau der beiden Flüssigkeiten. Sogleich steigen letztere in die Höhe. Hierauf stellt man, während der Kolben K unverrückt bleibt, die Gläschen so, daß der Nullpunkt der beiden Scalen genau im Niveau der Flüssigkeiten liegt. Dann liest man die beiden Flüssigkeitssäulen ab, und dividirt die Länge der Wassersäule durch die der zu untersuchenden Flüssigkeit. Der Quotient giebt das specif. Gewicht der letzteren. Die Vortheile dieses Hydrometers liegen nach Alexander vorzugsweise darin, daß hier die Flüssigkeiten unter ganz gleichen Umständen, bei gleichem Thermometer- und Barometerstande mit der Gewichtseinheit, dem destillirten Wasser im vollsten Sinne des Wortes verglichen werden, während bei den gewöhnlichen Aräometern das Resultat nur dann richtig sein wird, wenn die Untersuchung bei der Temperatur vorgenommen wird, für welche das Instrument verfertigt wurde; sonst müssen Reductionen für das Dichtigkeitsmaximum des Wassers ausgeführt werden. Hier dagegen käme es für genauere hydrometrische Messungen darauf an, die beiden Flüssigkeitssäulen für die Temperatur so zu corrigiren, wie man die Barometerstände auf Null reducirt, d. h. man hätte den Ausdehnungscoefficienten beider Flüssigkeiten mit der Anzahl der Thermometergrade zu multipliciren und das Product von der beobachteten Länge der Flüssigkeitssäulen abzuziehen, ehe man die erwähnte Division ausführt. Auch können mittelst des Hydrometers specifisch leichtere und schwerere Flüssigkeiten untersucht werden, ohne daß das Instrument deshalb umständlicher, theurer oder die Behandlung schwieriger würde.

Die Adhäsionserscheinungen, welche bei den Aräometern wenigstens das Ablesen erschweren, können durch Vergrößerung des inneren Durchmessers der beiden Röhren A und B verkleinert und gleich gemacht werden. Auch läßt sich ein mit dem Instrument gemachter Versuch in kürzester Zeit mehrfach wiederholen, und so als Mittel ein Resultat gewinnen, das von etwaigen Fehlern der Beobachtung frei ist.

Eine Tabelle über die Dichtigkeit oder specif. Gewichte für die gewöhnlichsten festen und flüssigen Körper findet man im Art. Dichtigkeit.

Bei der Bestimmung des specifischen Gewichts der Gasarten nimmt man die atmosphärische Luft bei einem gewissen Barometerstande und einer bestimmten Temperatur als Einheit an. Die gefundenen Werthe lassen sich dann leicht sämmtlich auf Wasser reduciren, wenn das Gewichtsverhältniß des letzteren zu der atmosphär. Luft bekannt ist. Die Bestimmungen des specifischen Gewichts der atmosphärischen Luft glaubt man bis auf Aristoteles zurückführen zu können*). Galiläi bestimmte das Verhältniß des Wassers zu derselben wie 400 zu 1. Mersenne trieb die Luft durch Glühhitze aus einem Gefäße, wog dieses, tauchte die Oeffnung desselben unter Wasser, so daß es sich um den Antheil der entfernten Luft damit füllte, wog dieses gleichfalls und fand das Verhältniß wie 1300 : 1. Robert Boyle wog luftverdünnte und luftvolle Gefäße und fand 938 : 1; Hawksbee auf gleiche Weise 850 : 1; derselbe, Halley und Cotes durch ähnliche Versuche vor der Königl. Gesellschaft in London = 840 : 1, 852 : 1 und 860 : 1; Cavendish = 800 : 1; Schuckburgh durch sehr genaue Versuche bei 29,27 engl. Zoll Barom. und 51° Fahr. = 836 : 1, welche Größe der Wahrheit schon näher kommt.

*) Vergl. Hutton, Dict. T. I. p. 52 und Gehler, Wörterb. Bd. IV. S. 1493.

Um das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft zu erhalten, bediente man sich gewöhnlich eines Ballons (von 8 bis 10 Liter Inhalt), welcher mit einem Hahne versehen ist, der luftdicht verschlossen und auf eine gute Luftpumpe geschraubt werden kann. Man macht nun den Ballon möglichst luftleer, schließt den Hahn und wägt den Ballon. Sein Gewicht sei P. Hierauf öffnet man den Hahn, wonach Luft in den Ballon einströmt, und wägt den letzteren aufs Neue. Ist sein Gewicht jetzt = P′, so ist P′ — P das Gewicht des Luftvolumens, welches der Ballon zu fassen vermag, bei dem während des Versuches herrschenden Barometerstand und der während des Versuches herrschenden Lufttemperatur. Bezeichnet V das innere Volumen des Ballons, so hat man für das Gewicht der Volumeneinheit (Cubikcentimeter) Luft $\frac{P' - P}{V}$. Diese Formel könnte jedoch nur dann einen genauen Werth liefern, wenn sich im Ballon mittelst der Luftpumpe eine vollkommene Luftleere erzeugen ließe. Nun bleibt aber beim Auspumpen des Ballons immer noch etwas Luft in demselben zurück, deren Gewicht zu bestimmen ist, um das Gewicht der ganzen im Ballon befindlichen Luft zu erhalten. Der Ballon sei bei einem Barometerstand von B Millimeter so weit entleert, daß die Barometerprobe der Luftpumpe nur noch b′ Millimeter zeigt, dann hat man, da $B : b' = P : x$, $\frac{Pb'}{B}$ für den Antheil Luft, der nach dem Auspumpen noch im Ballon zurückbleibt. Weil nun der ausgepumpte Ballon um diese Größe mehr wiegt, als wenn er ganz leer wäre, so ist dieselbe noch von seinem Gewichte abzuziehen. Außerdem hat man bei sehr genauen Versuchen dieser Art auch noch auf die Ausdehnung der Glashülle und auf den Umstand Rücksicht zu nehmen, daß der Ballon, wenn sein Gewicht in der Luft bestimmt wird, um so viel weniger wiegt, als die Quantität Luft wiegt, die er aus der Stelle verdrängt. Kennt man nun die lineare Ausdehnung a des Glases für eine Temperaturveränderung von 1° C., so ergiebt sich das Volumen des Ballons bei der Temperatur t zu $V(1 + 3at)$.

Das Gewicht der vom Ballon verdrängten Luft ist aber gleich dem Gewichte der in ihm enthaltenen Luft und desjenigen Volumens derselben, welches durch die Wände und die Fassung des Ballons aus der Stelle getrieben wird. Dieser Gewichtsbetrag wäre also noch dem unmittelbar durch die Wägung erhaltenen Gewichte des Ballons hinzuzufügen. Da es sich hier um das Gewicht der Luft als solcher handelt, so muß dieselbe im trocknen Zustande den Ballon erfüllen; da jedoch der Feuchtigkeitsgehalt der äußeren Luft auf den Gewichtsverlust des Ballons von Einfluß ist, so kann man den Gehalt an Feuchtigkeit durch ein Psychrometer bestimmen und daraus das Gewicht der trocknen Luft herleiten. Das bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Barometerstand erhaltene Gewicht pflegt man auf die Normaltemperatur 0° C. und den Normalbarometerstand von 28 Par. Zoll oder 760 Millimeter zu reduciren. Bezeichnet nun s das specif. Gewicht, welches man bei der Temperatur t und dem Luftdruck b gefunden hat, s′ das auf den normalen Thermometer- und Barometerstand reducirte specif. Gewicht, so hat man

$$s : s' = \frac{b}{28\,(1 + 0{,}00366\,t)} : 1, \text{ oder } s' = \frac{s\,(1 + 0{,}00366\,t)\,28}{b}.$$

Auf dieselbe Weise läßt sich auch das specif. Gewicht der anderen Gasarten im trocknen Zustande bestimmen. Ist aber das specif. Gewicht der atmosphärischen Luft einmal bekannt, so läßt sich das der übrigen Gasarten ohne weitere Correctionen ermitteln, wenn man ihr absolutes Gewicht mit dem Gewichte eines gleichen Volumens Luft bei derselben Temperatur und demselben Barometerstande mit einander vergleicht. Ist (nach dem Obigen) das Gewicht des Ballons mit trockner Luft P', das des leeren P, so ist P' — P das Gewicht der im Ballon befindlichen Luft. Beträgt dann das Gewicht des mit irgend einer Gasart gefüllten Ballons Q, so hat man Q — P für das Gewicht des Gases, welches der Ballon faßt, und für das specif. Gewicht des Gases $\frac{Q - P}{P' - P}$ gegen Luft als Einheit. Das specif. Gewicht der Luft und übrigen Gase gegen Wasser ergiebt sich am einfachsten, wenn man das reducirte Gewicht der Luft durch das Gewicht des den Ballon füllenden Wassers dividirt.

Marchand *) bestimmte das specif. Gewicht verschiedener Gase auf die Weise, daß er einen Glasballon von genau bekanntem Volumen und bei constanter Temperatur mit dem einen der betreffenden Gase füllte, dasselbe dann durch geeignete Agentien absorbiren und dafür ein anderes eintreten ließ, das nicht absorbirt wurde, und vor jeder neuen Abänderung wog.

Biot **) fand das Gewicht eines Cubikcentimeters trockne atmosphärische Luft bei 0^0 Temperatur und $0^m,76$ Barometerstand = 0,001299541 Gramm oder das Gewicht eines Liters Luft unter denselben Umständen = 1,299541 Gramm. In neuester Zeit hat Regnault ***) Versuche über die Dichtigkeit der Luft und Gasarten überhaupt angestellt und giebt das Gewicht eines Liters Luft = $1^{Grm.},293187$ an. Da dies nur für Paris gilt, und sich natürlich mit der Polhöhe und der Erhebung über das Meeresniveau ändert, so giebt er folgende Formel an, um das Gewicht der Luft für jeden Ort zu reduciren. Ist λ die Polhöhe, h die Höhe über dem Meeresniveau, R der Erdradius und γ das gesuchte Gewicht der Luft, so ist:

$$\gamma = 1^{Grm.},292697\ (1,00001885)\ \frac{1}{1 + \frac{2h}{R}}\ (1 - 0,002837 \cos 2\lambda)$$

Läsch ****) zeigt, daß sich in den von Regnault angestellten Rechnungen einige Ungenauigkeiten finden und giebt für γ folgende Formel:

$$\gamma = \frac{1^{Grm.},2927807\ (1 - 0,0025935 \cos 2\lambda)}{1 + \frac{2h}{R}}.$$

Die Dichte oder das specif. Gewicht von Dämpfen kann nach drei Methoden, der Gay-Lussac'schen, Dumas'schen und der aus letzterer hervor-

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. XLIV. S. 38; Ann. d. Chemie und Pharm. Bd. LXVIII. S 202.

**) Biot, Traité. T. I. p. 384 sq.

***) Mémoire de l'Acad. de France. 1847. Poggend. Ann. Bd. LXXIV. S. 202.

****) Poggend. Ann. Ergänzb. Bd. III. S. 321.

gegangenen Mitscherlich'schen *) Methode ermittelt werden. Man vergleiche darüber den Artikel Dampf, wo sich auch Tabellen über die Dichtigkeiten verschiedener Gasarten und Dämpfe finden.

Die Dichtigkeit einer Mischung zweier Körper kann man, wenn die Dichtigkeiten beider Körper und ihr Mischungsverhältniß bekannt sind, durch Rechnung bestimmen. Besteht nämlich die Mischung aus m Raumtheilen eines Körpers von der Dichtigkeit $= s$, und aus n Raumtheilen eines anderen Körpers von der Dichtigkeit $= s'$, so ist die Masse des einen Bestandtheils $= ms$, die des anderen $= ns'$, und die des Ganzen $= ms + ns'$, daher die Dichtigkeit der Mischung

$$s = \frac{ms + ns'}{m + n}.$$

Wenn das Volumen $m + n$ durch die Mischung (in Folge einer Contraction oder Ausdehnung) ein anderes $= V$ geworden, so hat man

$$s = \frac{ms + ns'}{V}.$$

In Poggendorff's Annalen **) ist zur Berechnung des specif. Gewichts von Gemengen die Formel $\gamma = \frac{(a + b)\,\alpha\beta}{a\beta + \alpha b}$ aufgestellt, worin c das absolute, γ das specif. Gewicht eines zwei Bestandtheile enthaltenden Gemenges, a das absolute Gewicht des einen, b das des anderen Gemengtheils, α das specif. Gewicht, β das des anderen ist. Bezeichnet nämlich $P(x)$ allgemein das Gewicht der Wassermasse, welche ein eingetauchter Körper vom Gewicht x verdrängt, so hat man, da $c = a + b$ und $P(c) = P(a) + P(b)$ die Gleichung

$$\gamma = \frac{c}{P(c)} = \frac{c}{P(a) + P(b)} = \frac{c}{\frac{a}{\alpha} + \frac{b}{\beta}} = \frac{\alpha\beta c}{a\beta + \alpha b}.$$

Sowohl feste als auch flüssige Körper zeigen bei ihrer Mischung die Eigenthümlichkeit einer Contraction, so namentlich Metalllegirungen und Mischungen von Säuren und Alkohol mit Wasser, was auf das specif. Gewicht natürlich von Einfluß ist.

Mischt man z. B. absoluten Alkohol in verschiedenen Verhältnissen mit Wasser, so zeigen diese Mischungen eine bei weitem größere Dichtigkeit und bei weitem geringeres Volumen, als die berechneten mittleren Werthe angeben. Folgende Tabelle ***) giebt an, wie viel man immer absoluten Alkohol mit Wasser bei 15° C. mischen muß, um 100 Maß wässerigen Weingeist zu erhalten. Die Ansicht der Tabelle ergiebt, daß die Summe der Maße von Alkohol und Wasser immer weit mehr als 100 beträgt. Der größte Unterschied zeigt sich bei 55 Maß Alkohol.

---

*) Poggend. Ann. Bd. XXIX. S. 203 ff. Repert. der Phys. v. Dove. Bd. I. S. 149.

**) Bd. LXXI. S. 129.

***) Payen, Gewerbschemie, deutsch von Fehling. Stuttgart 1850. S. 511.

Tabelle.

100 Maß wässeriger Weingeist, (dessen Stärke sich aus seinem Alkoholgehalte ergiebt) enthalten bei 15⁰ C.

Maße von absolut. Alkohol	Maß Wasser	Maße von absolut. Alkohol	Maß Wasser
100	0,00	45	58,64
95	6,18	40	63,44
90	11,94	35	68,14
85	17,47	30	72,72
80	22,87	25	77,24
75	28,19	20	81,72
70	33,24	15	86,20
65	38,61	10	90,72
60	43,73	5	95,31
55	48,77	0	100,00
50	53,74		

Ein ähnliches Verhalten zeigt die Essigsäure, wie folgende Tabelle von Mollerat zeigt. Das Essigsäurehydrat ($= C_4\,H_4\,O_4$) ist etwas schwerer als Wasser, denn es hat das specifische Gewicht = 1,063. Fängt man es aber an mit Wasser zu mischen, so erhält man Gemische, die viel schwerer werden als Essigsäure und deren specif. Gewicht bis 1,079 steigen kann, wie folgende Tabelle zeigt *).

Essigsäurehydrat	Wasser	Specif. Gewicht
100	0,0	1,063
=	9,1	1,074
=	20,5	1,077
=	29,5	1,079
=	39,1	1,076
=	50,0	1,074
=	88,6	1,065
=	107,5	1,063

In diesen beiden angeführten Fällen zeigt sich Contraction, während z. B. die Blei- und Zinnlegirungen nach Kupfer eine Ausdehnung zeigen **).

Noch weit auffallender zeigen sich Abweichungen vom mittleren specifischen Gewichte, wie es aus dem der Bestandtheile berechnet wurde, bei chemischen Verbindungen von einfachen Körpern. Zur besseren Uebersicht der hierbei vorkommenden Verhältnisse hat man einen eigenthümlichen Begriff eingeführt, nämlich

*) Payen, Gewerbschemie, deutsch von Fehling. Stuttgart 1850. S. 523.
**) Kastner, Archiv.

den des Atomvolumens, d. h. den Quotienten der Dichtigkeit in das Atomgewicht. Man vergleiche über diesen Gegenstand den Artikel Volumentheorie.

Bei krystallisirten Körpern wird häufig das specif. Gewicht ein geringeres, wenn sie in glasartige, amorphe Massen übergehen.

Al. Brongniart *) machte auf die Thatsache aufmerksam, daß die Porcellanmasse (von Sèvers) im schwach gebrannten ungaren Zustande ein höheres specif. Gewicht habe als im stark gebrannten garen Zustande, obschon die Porcellanmasse beim Brennen im Gutofen schwindet, also einen kleineren Raum einnimmt, und demgemäß ein höheres specifisches Gewicht als vorher haben sollte. G. Rose **) hat nun ähnliche Versuche mit Porcellanmassen aus der Berliner Fabrik in verschiedenen Stadien des Garbrennens angestellt und aus denselben den wahrscheinlichen Schluß gezogen, daß beim Brennen der Porcellanmasse deren beide Hauptgemengtheile ganz oder zum Theil chemisch auf einander wirken und dabei sich ausdehnen. Diese Ausdehnung findet immer statt und das Schwinden der Porcellanmasse beim Brennen im Gutofen ist hiernach nur scheinbar, und wird nur durch das Wegfallen der leeren Räume in dem Thone, die theils durch die lockere Zusammenhäufung, theils durch das Entweichen des Wassers beim Brennen im Verglühofen entstehen, hervorgebracht.

Auch mechanische Operationen und die Art und Weise der Darstellung haben auf die Dichtigkeit fester Körper, besonders der Metalle, einen bedeutenden Einfluß.

Lamé und Clapeyron ***) haben die Rechnung entwickelt, wie man durch die Quantität, um welche ein fester Körper sich verlängert, wenn er einer bestimmten Zugkraft unterworfen wird, und um welche er sich wieder verkürzt, wenn das ziehende Gewicht aufhört, die Dichtigkeit ermitteln kann, welche er unter einem bestimmten äußeren Druck annimmt, welcher gleichmäßig auf alle Theile seiner Oberfläche wirkt. Legt man dabei die Versuche von Duleau, Tredgold, Colladon und Sturm zu Grunde, so ergeben sich aus den Formeln, bei einem Druck von 100 Atmosphären für die unten genannten Körper die beistehenden Aenderungen der Dichtigkeit.

Namen der Körper	Zunahme der Dichtigkeit bei 100 Atmosphären
Eisen	$\frac{1}{13333}$
Gußeisen	$\frac{1}{8628}$
Glas	$\frac{1}{6060}$
Kanonenmetall . .	$\frac{1}{4490}$

*) Traité des arts céramiques ou de poteries. Paris 1844.
**) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 97.
***) Mémoire sur l'équilibre intérieur des corps solides homogènes. Crelle, Journ. f. Math. Bd. VII. S. 251 u. 381.

Namen der Körper	Zunahme der Dichtigkeit bei 100 Atmosphären
Messing	$\frac{1}{4183}$
Zinn	$\frac{1}{2156}$
Blei	$\frac{1}{336}$
Weißer Marmor . .	$\frac{1}{1181}$
Tannenholz	$\frac{1}{943}$
Eichenholz . . .	$\frac{1}{796}$

Ausführliche Versuche über die Aenderung der Dichtigkeit der Metalle durch Belastung, Drahtziehen, Walzen, Glühen, Härten haben Vicat *) und Baudrimont **) angestellt.

Außer mechanischen Operationen hat auf die Dichtigkeit der Körper die Art, wie sie dargestellt wurden, einen Einfluß. Eine Zusammenstellung solcher Data hat Dove ***) gegeben.

Ueber den Einfluß der Temperatur auf die Dichtigkeit der Körper ist der Art. Ausdehnung und Volumen, specifisches, nachzusehen. Nur von der Veränderung der Dichte des Wassers, weil dieses bei der Bestimmung der Dichte der Körper gewöhnlich als Einheit angenommen wird, sei hier noch einiges angeführt. Das Wasser zeigt bekanntlich die Eigenthümlichkeit (s. Ausdehnung Bd. I. S. 589 ff.), daß es bei Erhöhung der Temperatur von seinem Thaupunkte ab (0° C.) an Dichtigkeit zunimmt, bis zu einem Dichtigkeitsmaximum bei einer Temperatur, die einige Grade über dem Eispunkte liegt. Von da an nimmt bei steigender Temperatur die Dichtigkeit immer mehr ab. Die gefundenen Temperaturwerthe für das Dichtigkeitsmaximum des Wassers schwanken zwischen + 1,76° C. und + 1,44° C. Hällström ****) hat aus seinen eigenen zahlreichen Versuchen und den vorzüglichsten anderer Physiker die Temperatur, bei welcher das Dichtigkeitsmaximum des Wassers stattfindet,

$$= 3{,}9^0\ \text{C.}$$

berechnet; welchen Werth man als den richtigen annehmen kann.

Haßler *****) hat bei der Regulirung des amerikanischen Gewichts ebenfalls eine große Anzahl einzelner Versuche über die Dichtigkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen angestellt, aber nur innerhalb der Grenzen, zwischen welchen die jährliche Temperatur schwankt, da er keine künstliche Erwärmung des

*) Institut No. 28. p. 238. Poggend. Ann. Bd. XXXI. S. 108.
**) Ann. de Chim. et de Phys. T. LX. p. 78.
***) Dove und Moser. Repertor. Bd. I. S. 135.
****) Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 220. Kongl. Vetensk. Acad. Handl. f. 1833.
*****) Twenty second Congress. I. Session. H. R. No. 299.

Wassers benutzte. Es finden sich diese Versuche ausführlich zusammengestellt in dem citirten Berichte an den Senat der Vereinigten Staaten.

In neuester Zeit hat Alexander *) diese Haßler'schen Versuche vorgenommen und daraus eine Tabelle berechnet für die Dichtigkeit des Wassers zwischen 40° F. und 85° F., indem er bei 40° F. (= 4,4 C.) das Dichtigkeitsmaximum des Wassers annimmt und dasselbe = 1 setzt. Auch nach Berücksichtigung der verschiedenen zur Einheit genommenen Dichtigkeiten bieten die obige Hällström'sche und die unten angefügte Alexander'sche schon in der 4. Decimale bedeutende Abweichungen, indem die Alexander'sche durchgehends größere Dichtigkeiten giebt.

Tabelle
für die Dichtigkeit des Wassers von 40° F. bis 85° F. von Alexander.

Temperatur Fahr.	Specifisches Gewicht	Temperatur Fahr.	Specifisches Gewicht
40°	1,0000000	63°	0,9991523
41	0,9999997	64	0,9990732
42	0,9999978	65	0,9989905
43	0,9999948	66	0,9989043
44	0,9999860	67	0,9988147
45	0,9999737	68	0,9987217
46	0,9999579	69	0,9986252
47	0,9999385	70	0,9985253
48	0,9999157	71	0,9984219
49	0,9998893	72	0,9983149
50	0,9998595	73	0,9982043
51	0,9998262	74	0,9980901
52	0,9997894	75	0,9979723
53	0,9997491	76	0,9978510
54	0,9997052	77	0,9977263
55	0,9996577	78	0,9975981
56	0,9996067	79	0,9974665
57	0,9995522	80	0,9973315
58	0,9994942	81	0,9971929
59	0,9994328	82	0,9970507
60	0,9993680	83	0,9969049
61	0,9992997	84	0,9967555
62	0,9992278	85	0,9966025

Nach Regnault's **) Bestimmungen wiegt 1 Liter Wasser im Maximum der Dichtigkeit 1000 Gr. und 1 Liter Quecksilber bei 0° 13595,93 Gr. Da nun 1 Liter Luft bei 0° und $0^{m},76 = 1^{Grm.},293187$, so ist das Gewichtsverhältniß zwischen Quecksilber und Luft bei 0° und $0^{m},760$ zu Paris = 10513,5 und im Niveau des Meeres und unter 45° = 10517,3. We.

*) Silliman's American Journal second Series. No. 47. Sept. 1853. p. 170.
**) Poggend. Ann. Bd. LXXIV. S. 210.

Gewinde, s. Schraube.

Gewitter, **Ungewitter**, **Donnerwetter** gehören zu den großartigsten Erscheinungen in der Atmosphäre und bestehen in einer Entladung der Wolken in Regen, Hagel und Schnee, welche in der Regel unter Blitz und Donner erfolgt.

Die Gewitter werden stets durch Wolkenbildung eingeleitet. Die Wolken selbst werden Gewitterwolken genannt und entstehen zuweilen über dem Horizonte des Ortes selbst, an welchem sie sich entladen, zuweilen treten sie schon gebildet über den Horizont. Sie bilden sich oft außerordentlich schnell aus und zuweilen an verschiedenen Orten gleichzeitig. Sie zeichnen sich durch rundliche Formen, eigenthümliche Anhäufung und starke Gegensätze von Beleuchtung aus und gehen in der Regel nicht sehr hoch. In den Tropen übersteigt die Höhe nach v. **Humboldt** sehr selten $^1/_2$ Meile, bei uns erreicht dieselbe gewöhnlich noch keine viertel Meile. Im Sommer hat man sie freilich schon über den Montblanc, über das finstere Aarhorn und Schreckhorn, also in einer Höhe von mehr als 10000 Fuß, ziehen sehen. Wintergewitter sind gewöhnlich in geringerer Höhe. Ueber das charakteristische Aussehen der Hagelwolken verweisen wir auf den Artikel **Hagel**, wo auch hervorgehoben ist, daß in der Regel zwei Wolkenschichten vorhanden sind, wodurch das eigenthümliche Aussehen jedenfalls mit bedingt wird.

Die Gewitter pflegen nur dann sich vollkommen auszubilden, wenn die Atmosphäre sehr ruhig ist, obschon andere elektrische Erscheinungen in der Atmosphäre auch bei Stürmen auftreten. Schwüle, drückende Hitze, die das Thermometer nicht immer anzeigt, und wolkenloser Himmel sind die gewöhnlichen Vorboten der Gewitter. Dabei empfindet der Mensch vor der Entladung eine eigene Mattigkeit, Trägheit und Schwere in den Gliedern. Hält die Windstille und Hitze mehrere Tage an, so verliert die Luft an Klarheit, sie ist wie von einem leichten Höhenrauche erfüllt, es bilden sich endlich Gewitterwolken, die sich bisweilen wieder zerstreuen und wieder bilden, bis es zum Gewitter kommt, das um so heftiger zu sein pflegt, je länger jener eigenthümliche Zustand der Atmosphäre gewährt hatte. Bei den Gewittern scheint übrigens Ruhe nur in den unteren Theilen der Atmosphäre zu herrschen. Wenn das Barometer sinkt, so erkennt man daraus ein Abfließen der Luft in den höheren Regionen der Atmosphäre. Zwischen den Wendekreisen finden daher die meisten Gewitter zur Zeit des Wechsels der Moussons (s. d. Art. **Winde**) statt, d. h. zu einer Zeit, wo schon ein neuer Mousson in den höheren Gegenden herrscht, der sich noch nicht der Erdoberfläche genähert hat.

Bildete sich das Gewitter bei windstillem Wetter aus und zwar in einiger Entfernung von dem Zenith, so erhebt sich ein heftiger, von der Gewitterwolke herkommender Wind, wobei es gleichgültig ist, auf welcher Seite der Gewitterwolke der Beobachter sich befindet, da dieser Sturm nach allen Seiten hin von der Gewitterwolke ausgeht. Im Schatten der Wolke nämlich tritt eine Abkühlung der Luft ein, die kälter gewordene senkt sich, fließt unten ab, während oben aber wärmere Luft zuströmt. Aus diesen Strömungen, welche oben nach der Wolke hin gerichtet sind, erklärt sich auch, daß kleinere, in der Nähe der Hauptwolke befindliche Wolken der letzteren zueilen und scheinbar von der Gewitterwolke angezogen werden. Mit welcher Heftigkeit der aus der Wolke hervorstürzende Wind auftritt, wie er Wirbel veranlaßt und bisweilen große Verheerungen anrichtet, ist bekannt, wir verweisen indessen noch besonders auf den Artikel **Wasserhosen**.

Eine wichtige Bedingung zur Bildung der Gewitter fand Brandes *) bei seinen Untersuchungen über die Strahlenbrechung, es war diese nämlich so bedeutend bei der dem Gewitter vorangehenden Schwüle, daß sich dies nur aus einem bedeutenden Unterschiede in der Temperatur der oberen und unteren Luftschichten erklären läßt.

Am häufigsten sind die Gewitter in niederen Breiten während der nassen Jahreszeit, wo sie fast täglich auftreten **), auch zeichnen sich hier die Gewitter durch eine Heftigkeit aus, von der wir keinen Begriff haben. Wie Caldcleugh erzählt ***), treten die Gewitter in manchen Gegenden Brasiliens täglich mit solcher Regelmäßigkeit hervor, daß man sich nicht wie bei uns zum Kaffee oder Thee einladet, sondern auf vor und nach dem Gewitter. In Surinam beginnen sie, nach einer Nachricht vom Jahre 1722, anfangs um 9 oder 10 Uhr Morgens und dauern bis 3 oder 4 Uhr, dann beginnen sie um 11, später um 1 oder 2, endlich gegen 3 oder 4 Uhr, wo sie dann plötzlich aufhören ****). Diese Gewitter zwischen den Wendekreisen werden nach den heftigen sie begleitenden Winden Tornados oder Trovados *****) auf den Antillen, auf Isle de France und in Hindostan Orcane, (ouragans, hurricanes), in dem chinesischen Meere Typhonen genannt †).

Ueber die Menge der Gewitter und deren Vertheilung auf die Jahreszeiten in den verschiedenen europäischen Ländern hat Kämtz ††) die Beobachtungen, soweit ihm solche zugänglich waren, verglichen. Er findet nach Beobachtungen zu La Rochelle, Middelburg und Brüssel, daß von 100 Gewittern an der Westküste Europas, bei einer jährlichen Zahl der Gewitter 19,8 im Mittel,

auf den Winter	8,9
auf den Frühling	17,7
auf den Sommer	52,5
auf den Herbst	20,9

kommen. Aus der Vergleichung der Beobachtungen von 18 Orten in Deutschland findet er für die einzelnen Monate folgende Mittel:

Januar	0,07	Mai	3,07	September	1,23
Februar	0,08	Juni	3,91	October	0,23
März	0,23	Juli	4,50	November	0,11
April	1,34	August	4,14	December	0,12

Im Durchschnitt finden also in einem Orte in Deutschland jährlich 19 Gewitter statt, eben so viele als an der Westküste Europas in ungefähr gleicher Breite. Diese Gewitter zeigen sich vorzüglich im Sommer; vom Februar bis zum Juni nimmt ihre Anzahl langsamer zu, als sich dieselbe vom August bis zum November vermindert. Ueberhaupt sind sie nach den einzelnen Jahreszeiten folgendermaßen vertheilt:

---

*) Beiträge zur Witterungskunde. Leipzig 1820. S. 363.

**) Humboldt, Voyage. T. VII. p. 426.

***) Dove, meteorologische Untersuchungen. Berlin 1837. S. 53.

****) Dove, a. a. O.

*****) Humboldt, Voyage. T. VII. p. 426.

†) Lund in Tidsskrift for Naturvidenskaberne. T. V. p. 102. Eschwege, Brasilien, die neue Welt. Bd. II. S. 20. Vergl. Kämtz, Meteorologie. Bd. II. S. 450.

††) Meteorologie. Bd. II. S. 454 ff.

Winter	1,4	Procent
Frühling	24,4	=
Sommer	66,0	=
Herbst	8,2	=

Die Zahl der Winter- und Herbstgewitter hat, wie man sieht, in Deutschland gegen die Westküste Europas abgenommen, die Zahl der Sommer- und Frühlingsgewitter dagegen zugenommen. Noch bedeutender wird diese Veränderung weiter ins Innere des alten Continents. Kämtz zieht für dieses 7 Orte in Betracht und findet folgende Vertheilung:

Winter	0,0	Procent
Frühling	15,7	=
Sommer	79,3	=
Herbst	5,0	=

Hier treten also $^2/_3$ sämmtlicher Gewitter im Sommer auf. Kämtz erinnert hierbei daran, daß ganz in derselben Art, in welcher die Sommerregen über die Winterregen mit der Entfernung vom atlantischen Meere zunehmen, eben so auch die Sommergewitter die Wintergewitter an Zahl übersteigen.

Ueber das Verhältniß der Gewitter am Nordrande des mittelländischen Meeres theilen wir die Resultate nach Beobachtungen zu Marseille und Rom mit. Am ersteren Orte war die Anzahl der Gewitter jährlich im Mittel 9,3, am anderen 42,4 und diese vertheilen sich nach Procenten in folgender Weise auf die einzelnen Jahreszeiten:

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Marseille . .	8,4	11,8	42,9	36,9
Rom	11,2	16,8	34,9	37,1

Die Wintergewitter scheinen nach Kämtz vorzugsweise an steil aufsteigenden Küsten häufiger zu sein. So sind in Island Donner und Blitz am häufigsten im Winter; auf den Faröern finden die Gewitter nur im Winter bei starkem Sturme statt. Dasselbe gilt von den Hebriden und von den shetländischen Inseln. Auch an der Westküste von Nordamerika, wie in Sitcha, zeigen sich die Gewitter vorzugsweise im Winter, besonders im December und Januar *). Die Zahl der Gewitter ist in Skandinavien und Sibirien nach Kämtz weit geringer als in Deutschland und Frankreich **). Im Allgemeinen wird die Anzahl der Gewitter geringer, je weiter nach Norden man kommt. Giesecke bemerkte während eines sechsjährigen Aufenthaltes in Grönland unter einer Breite von 70° nur ein einziges Gewitter ***).

Die hier nach Kämtz gegebenen Resultate erkennt dieser selbst nicht als vollständige an, und in der That fehlt noch viel, ehe dies Ziel erreicht werden dürfte. Vielleicht ergiebt sich in der jährlichen Periode der Gewitter eine Uebereinstimmung

---

*) Vergl. über die Häufigkeit der Gewitter in den Polar-Regionen Poggend. Ann. Bd. XLVIII. S. 601.

**) Vergl. über die Gewitter im nördlichen Skandinavien Poggend. Ann. Bd. XLIX. S. 634.

***) Humboldt, Voyage. T. VII. p. 426.

mit der jährlichen Periode der Stärke der Elektricität bei den atmosphärischen Niederschlägen.

In Beziehung auf die Tageszeiten stellen sich die Gewitter am häufigsten des Nachmittags ein, seltener des Nachts, am seltensten des Vormittags.

Ueber den Zug der Gewitter sind in Folge einer Aufforderung der naturforschenden Gesellschaft zu Halle im Jahre 1820 *) in Deutschland mehrfache Beobachtungen angestellt worden, und daraus wollte man das Resultat gewonnen haben, daß in Deutschland die Gewitter meistentheils von SW. nach NO. ziehen, seltener von NO. nach SW., also der vorigen Richtung entgegengesetzt. Kämtz **) hält jedoch die hier zu Grunde gelegten Beobachtungen für unzureichend, weil ein Beobachter nur dann den Zug genauer angeben könne, wenn das Gewitter durch seinen Zenith gegangen sei, die Beobachter aber im vorliegenden Falle zu weit von einander entfernt gewesen seien. Wir werden im Verlaufe dieses Artikels noch auf den Einfluß der Winddrehungen auf die Gewitter kommen, und da dürfte sich die richtige Ansicht über den Zug der Gewitter von selbst ergeben. Hier bemerken wir nur, daß allerdings die meisten Gewitter aus dem südwestlichen Theile des Horizontes kommen, so weit es Deutschland betrifft.

In Bergen in Norwegen ziehen die Wintergewitter von W. nach O., die Sommergewitter hingegen von O. nach W.

Ueber die Geschwindigkeit, mit welcher die Gewitter fortschreiten, sind die Beobachtungen noch sehr unvollständig. Nach Schübler's Untersuchungen stellte sich in einem Falle eine Geschwindigkeit von 7 Meilen in einer Stunde heraus ***), in einem anderen Falle von $8^1/_2$ oder vielleicht von 25 Meilen ****). Die Unsicherheit in diesen Beobachtungen entsteht daher, daß es oft schwer zu entscheiden ist, ob man es mit ein und demselben oder mit ganz verschiedenen Gewittern zu thun hat. Das Hagelwetter vom 13. Juli 1788, welches einen großen Theil Frankreichs verwüstete, hatte $16^1/_2$ Lieues, also fast 10 Meilen in 1 Stunde zurückgelegt, ein anderes vom 28. Juli 1835 ungefähr 20 Lieues oder 12 Meilen *****). Das Gewitter, welches am 5. Juli 1846 über England hinzog, soll in der Richtung nach Osten eine Geschwindigkeit von 20 und in der nach Norden eine von 30 Meilen in der Stunde gehabt haben †).

Eine bei dem Gewitter gewöhnlich auftretende Erscheinung ist das Blitzen und Donnern. Ein Platzregen ist ein stilles Gewitter ††).

Der Blitz oder Wetterstrahl ist ein elektrischer Funke ganz nach derselben Art, wie der Funke, welcher sich zeigt, wenn man dem Conductor einer Elektrisirmaschine eine Metallkugel oder einen Knöchel der Hand nähert; nur daß der Blitz eine bei weitem großartigere Erscheinung ist und zwischen zwei Wolken oder einer Wolke und der Erde überspringt. Erst seit Franklin steht diese Identität als eine durch Versuche und Beobachtungen bestätigte Thatsache fest. Schon vor

*) Schweigger's Jahrb. N. R. Bd. VII. S. 5.
**) Meteorologie. Bd. II. S. 477.
***) Schweigger's Jahrb. N. R. Bd. I. S. 142.
****) Schweigger's Jahrb. N. R. Bd. XI. S. 40.
*****) Vergl. Art. Hagel.
†) Edinb. Journ. T. XLI. p. 412.
††) Poggend. Ann. Bd. XIII. S. 421.

demselben hatten indessen Wall *), Gray **) und noch mehr Nollet ***), besonders auch Winkler ****) die Aehnlichkeit, welche zwischen den Erscheinungen und Wirkungen des elektrischen Funkens und denen des Blitzes stattfindet, hervorgehoben und daraus auf die Elektricität als gemeinschaftliche Ursache beider, des Blitzes und des elektrischen Funkens, geschlossen.

Die ältere Ansicht vom Blitze war, daß er eine Entzündung brennbarer Dünste in der Luft sei, welche Dünste etwa aus Salzen oder Schwefel bestehen sollten, so daß eine ähnliche Explosion wie beim Schießpulver stattfände. Diese Ansicht zu widerlegen und zu untersuchen, ob der Blitz ein elektrischer Funke sei, gab Benjamin Franklin in Philadelphia zuerst ein Mittel an. Er hatte nämlich beobachtet, daß spitze Körper die Elektricität mehr und in größerer Entfernung anzögen als stumpfe, und rieth deshalb, auf einem hohen Thurme oder an einem anderen hochgelegenen Orte ein Häuschen zu errichten, aus welchem sich ein spitziger Eisendraht durch einen Harzkuchen isolirt erhebe. Wenn nun darüber Gewitterwolken hinzögen, so müßten sie, meinte Franklin, dem Eisendrahte einen Theil ihrer Elektricität mittheilen, welche, sobald man einen Schlüssel, einen Knöchel oder andere Leiter der Elektricität in die Nähe brächte, durch Funken wahrgenommen werden könnte *****).

Daß übrigens der Blitz und der elektrische Funke von derselben Natur sind, dafür sprechen schon folgende Betrachtungen: beide laufen in geschlängelten Wegen, treffen hohe und spitzig hervorragende Gegenstände am leichtesten, ergreifen die besten Leiter der Elektricität, Metalle, Wasser und feuchte Körper mit Vermeidung der Nichtleiter (so daß z. B. ein in ein Haus einschlagender Blitz an einem Klingeldrahte hinfährt, ohne die in der Nähe befindlichen, die Elektricität schlechter leitenden Gegenstände zu verletzen), sengen und zünden, schmelzen Metalle, durchlöchern feste Körper, machen Menschen und Thiere blind, zerstören das thierische Leben, nehmen dem Magnete seine Kraft, oder kehren seine Pole um (so daß aus dem Nordpole der Südpol und aus dem Südpole der Nordpol wird), und machen Stahl magnetisch †).

Franklin selbst war durch Umstände verhindert, sogleich die von ihm vorgeschlagene Vorrichtung, den Blitz auf die Erde zu ziehen, zur Ausführung zu bringen. Dies thaten zuerst die Franzosen Dalibert zu Marly la Ville und Delor zu Paris im Jahre 1752 ††). Jener befestigte eine 40 Fuß hohe eiserne Stange mit seidenen Schnüren an Pfählen und sicherte ihren Fuß gegen den Regen.

---

*) Phil. Transact. abridged T. IV. p. 275 u. Phil. Transact. T. XXVI. 1708. No. 314. p. 69 — 76.

**) Priestley, Histoire de l'Electr. T. I. p. 107, deutsche Uebersetzung von Krünitz, Berlin und Stralsund 1772. S. 37; Phil. Trans. abridg. T. VIII. p. 401.

***) Priestley a. a. O. Bd. I. S. 313, deutsche Uebers. S. 110; Nollet, Leçons de physique. T. IV. p. 314.

****) Von der Stärke der elektrischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefäßen. Leipzig 1746. Priestley a. a. O. S. 111.

*****) New exper. and observat. on electricity cet. by Benj. Franklin. London 1751. Franklin's Briefe von der Elektricität, übersetzt von Winkler. Leipzig 1758. Vergl. Priestley's Geschichte, deutsche Uebers. S. 110 — 119.

†) Priestley, Uebersetzung. S. 113 — 115.

††) Franklin's Werke. Bd. I. S. 159.

Aus dieser erhielt man bei einem Gewitter am 10. Mai Funken, die man als elektrische erkannte. Delor erhielt aus einer von ihm aufgerichteten 99 Fuß hohen Stange acht Tage darauf, als eine Gewitterwolke, ohne zu blitzen, vorüberzog, ebenfalls Funken. Noch in demselben Jahre wurden in Frankreich und England eine größere Anzahl von Versuchen angestellt, welche alle Franklin's Ansicht bestätigten, und Canton entdeckte schon, daß einige Gewitterwolken positiv, andere negativ elektrisch wären.

Indessen stellte auch Franklin 1752, ohne von den bereits angestellten Versuchen etwas zu wissen, entscheidende Versuche an mit einem Drachen (s. Art. Drache, elektrischer Bd. II. S. 546), welcher aus zwei kreuzweis über einander gelegten Stäben und einem darüber gespannten seidenen Schnupftuche bestand, eine eiserne Spitze hatte und an einer hanfenen Schnur gehalten wurde. Im Juni desselben Jahres erhielt er, als eine Gewitterwolke vorüberzog, aus einem an die Schnur befestigten Schlüssel Funken, besonders nachdem die Schnur naß und dadurch ein besserer Leiter der Elektricität geworden war. Im September desselben Jahres errichtete er nun eine isolirte eiserne Stange, um den Blitz in sein Haus zu leiten, und befestigte an dieselbe zwei Glöckchen nach Art eines elektrischen Glockenspiels (s. Art. Glockenspiel), welche ihn durch ihr Läuten benachrichtigten, wenn die Stange elektrisch war. Hiermit bemerkte er nun, daß einige Wolken negativ elektrisch seien, andere positiv, daß Uebergänge von einer Elektricität in die andere stattfänden, und daß auch außer den Zeiten eines Gewitters die Atmosphäre elektrische Erscheinungen zeige *). Die Versuche mit dem Drachen wurden von de Romas wiederholt, der mehrere mit einander verbundene Drachen steigen ließ, so daß der oberste eine Höhe von 550 Fuß erreichte **).

Auf eine ganz überzeugende, aber schauderhafte Weise wurde die Thatsache, daß der Blitz vom Himmel gezogen werden könne, dadurch bewiesen, daß am 6. August 1753 Richmann zu Petersburg durch einen absichtlich in sein Zimmer geleiteten Blitz getödtet wurde ***). Er hatte am Dache seines Hauses eine eiserne Stange aufgerichtet und metallne Drähte, die bis in sein Zimmer gingen, damit in Verbindung gebracht. Das Ende derselben war hier durch einen gläsernen, zum Theil mit Messingspähnen angefüllten Becher isolirt, um die Elektricität daselbst anzuhäufen. Zugleich befand sich hier ein Elektricitätszeiger. Am vorerwähnten Tage stieg um die Mittagsstunde ein Gewitter auf. Richmann stellte während desselben, in Gesellschaft des akademischen Kupferstechers Sokolow, Beobachtungen an seiner Vorrichtung an und mußte sich dabei öfters niederbücken. Unglücklicherweise kam er das eine Mal dem Ende des Metalldrahtes mit seinem Kopfe so nahe, daß er nur noch einen Fuß ungefähr davon entfernt war. In diesem Augenblicke fuhr ein Blitzstrahl in Gestalt eines weißlich blauen Feuerballs, etwa eine Faust groß, aus dem Drahte nach seinem Kopfe und warf ihn, ohne daß er

---

*) Franklin's Briefe, übers. von Winkler. S. 146 ff.; vergl. auch Dr. Benj. Franklin's nachgelassene Schriften und Correspondenz nebst seinem Leben. Aus dem Engl. Weimar 1818. Bd. III. Priestley a. a. O. S. 116.

**) Mém. prés. T. II. p. 394; T. IV. p. 514; Priestley a. a. O. S. 222. Vergl. auch Art. Drache, elektrischer.

***) Novi Comment. Petrop. T. IV. p. 335. Phil. Trans. T. XLVIII. p. 765. u. T. XLIX. p. 61. Priestley a. a. O. S. 225 ff.

einen Laut von sich gegeben hätte, rückwärts todt zu Boden. Auch Sokolow fiel betäubt darnieder. Dieser Blitzstrahl war von einem heftigen Knalle begleitet und ließ einen starken nach Schwefel riechenden Dampf zurück. Bei der Besichtigung Richmann's fand man am oberen Theile der Stirn, nach der linken Seite zu, einen länglich runden, mit Blut unterlaufenen Fleck und am Leibe, vorzüglich auf der linken Seite, vom Halse an bis an das Hüftbein, acht andere rothe und blaue Flecke von verschiedener Größe. Außerdem zeigten sich noch eine Menge kleiner Flecke auf die Art, wie wenn Jemand durch entzündetes Schießpulver beschädigt worden ist. Am linken Fuße war der Schuh aufgerissen, ohne daß man indeß eine Versengung wahrnehmen konnte, nur am bloßen Fuße sah man einen mit Blut unterlaufenen Fleck. Bei der Zergliederung fand man in der Luftröhre, in der Lunge, so wie in der Einfassung der Gekrösdrüse, viel ausgetretenes Blut und die letzte zeigte sich gequetscht. Nach zweimal 24 Stunden fing der Körper an in völlige Fäulniß überzugehen. Man untersuchte nun auch den Weg, welchen der Blitz genommen hatte, und fand die Pfoste von der offen gestandenen Thür von oben herunter halb gespalten. Auch der gläserne Becher und der Draht waren zerschmettert und glühende Stücke des Drahtes hatten in Sokolow's Kleider Striemen eingesengt.

Hiernach ist der Blitz nichts Anderes als die Entladung einer elektrischen Wolke gegen die Erde oder gegen eine andere Wolke, nachdem die Spannung und Anhäufung der Elektricität in der Wolke zu groß geworden ist.

Ueber das Vorkommen der Elektricität in der Atmosphäre verweisen wir auf den Art. Luftelektricität; auch werden wir noch im Verlaufe dieses Artikels darauf kommen, daß die bei einem Gewitter auftretende Elektricität nur eine Folge, nicht aber die Ursache desselben ist; hier wollen wir zunächst nur die äußeren Verhältnisse des Blitzes ins Auge fassen.

Ob eine Wolke negativ oder positiv elektrisch sei, hat auf die Erscheinung und Wirkung des Blitzes keinen wesentlichen Einfluß. Dasselbe ist der Fall bei dem elektrischen Funken, wie folgender Versuch darthut. Man belege 2 ebene runde Bretchen mit Zinnfolie und befestige das eine derselben in wagerechter Lage auf einem nach der Erde reichenden Fuß, das andere hänge man horizontal über das erstere an seidenen Fäden auf, die man oben an dem Arme eines Hebels zweckmäßig befestigt, so daß vermittelst desselben das obere Bretchen dem unteren beliebig genähert und von demselben entfernt werden kann. Wenn man nun das obere Bretchen mit einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine in Verbindung bringt und dem unteren nähert, so wird in diesem alsbald Elektricität erzeugt, welche der im oberen Bretchen entgegengesetzt ist. Sobald man beide Bretchen zugleich berührt, entladen sie sich mit einem elektrischen Schlage; bringt man aber die beiden Bretchen, während das obere stark elektrisirt ist, einander sehr nahe, so springt der Funke zwischen beiden über. Vor der Entladung durch den Schlag ziehen die Bretchen einander stark an, bei der Entladung selbst aber stoßen sie einander ab. Dies bemerkt man besonders, wenn man die beiden Bretchen nicht in horizontaler, sondern in verticaler Lage einander gegenüber hängt. Wenn sich in der Mitte eines dieser Bretchen ein kleiner hervorragender Körper befindet, so springt der Funke stets auf diesen über; endet aber diese Hervorragung in eine scharfe Spitze, so kann weder eine Ladung, noch ein Schlag hervorgebracht werden.

Was hier zwischen beiden Bretchen geschieht, tritt in größerem Maßstabe ein zwischen der Gewitterwolke und der Erde oder einer anderen Wolke. Sobald sich eine stark elektrische Gewitterwolke der Erde nähert, erzeugt sich in der Erde der elektrische Zustand, welcher demjenigen der Gewitterwolke entgegengesetzt ist, und der Funke (Blitz) schlägt endlich zwischen beiden über. Befindet sich auf der Erde in der Gegend, über welcher das Gewitter steht, ein hervorragender Körper, so wird der Blitz in diesen überfahren. Ist das Gewitter der Erde sehr nahe, so geschieht die Entladung an den hervorragenden Spitzen der Gegenstände ohne Schlag und ist nur bemerklich durch an allen Spitzen erscheinende leuchtende Flämmchen *).

Ob der Blitz nur von der Gewitterwolke nach der Erde fahre, nicht aber eben so von dieser nach jener, ist eine Frage, deren Beantwortung abhängig ist von Betrachtungen über das Wesen der Elektricität und des elektrischen Funkens. (Vergl. Art. Elektricität und Funke, elektrischer.) Wie leicht es ist, sich über die Richtung des Funkens zu täuschen, geht besonders aus Versuchen von Priestley hervor **). Er ließ zwischen einer messingenen Kugel und einem großen kupfernen elektrisirten Leiter Funken überspringen; mochte nun dieser Leiter positiv oder negativ elektrisirt sein, es kam ihm stets so vor, als wenn der Funke von der Kugel nach dem Leiter spränge, sobald die Kugel sich über dem Leiter befand, dagegen schien ein Ueberspringen von dem Leiter zu der Kugel stattzufinden, wenn letztere unter jenem war. Stets also schien der Funke von dem oberen Körper auszugehen. Dieselbe Sinnentäuschung findet statt beim Gewitter, wie es gewöhnlich beobachtet zu werden pflegt; die Gewitterwolke mag positiv oder negativ elektrisch sein, es scheint der Strahl gewöhnlich von der oberen Wolke nach der unteren Erde zu fahren, wenn es einschlägt. Schon Maffei ***) hat behauptet, daß der Blitz eben so von der Erde empor, wie von der Wolke herabfahre, und dagegen ist, wenn man nur den äußeren Schein berücksichtigt, nichts einzuwenden. Dies bestätigt eine Beobachtung des Consistorialrath Koch zu Magdeburg ****), welcher Folgendes erzählt: „Auf einer Harzreise, die ich im Jahre 1787 mit einigen Freunden machte, hörten wir von Süden her einen Donner und sahen, als wir bald darauf an einen freien Platz kamen, eine einzelne große schwarze Wolke, in gleicher Höhe mit unserem Standpunkte, ihre Richtung gerade auf uns zu nehmen. In dem Augenblicke, wo sie uns erreichte, sahen wir uns von einem dichten Nebel umfangen, der von einem zwar feinen, aber durchdringenden Regen begleitet war. Die Wolke verfolgte ihren Weg nach Wernigerode. Als sie uns fern genug zu sein schien, standen wir, sie betrachtend, still. Wir hörten wieder Donner und sahen nun, daß so oft ein Blitz zur Erde fuhr, ein dem Anscheine nach gleich starker Blitz in die Luft hinaufschlug, und eben so, wenn er in eine Seitenwolke überfuhr, ein gleicher auf gerade entgegengesetzter Seite zum Vorschein kam, so daß also jeder Blitz ein doppelter war. Die Gewißheit dieser von mir und meinen Begleitern zugleich gemachten Wahrnehmung kann ich ver-

*) Siehe Elmsfeuer im Art. Luftelektricität.

**) Geschichte der Elektricität. S. 478.

***) Scipione Maffei della formazione de' fulmini. Verona 1747.

****) Schweigger's Jahrb. N. R. Bd. XVI. S. 414.

bürgen." Um derartige Wahrnehmungen zu erklären, braucht man nun keineswegs zwei entgegengesetzte elektrische Fluida anzunehmen, sondern die Erscheinung erklärt sich sehr wohl, wenn man bei Annahme Eines elektrischen Fluidums das berücksichtigt, was im Art. Funke, elektrischer S. 295 mitgetheilt ist.

Was die Gestalt des Blitzes betrifft, so ist häufig bemerkt worden, daß der ganze Feuerstrahl in einer Feuerkugel endigte. So erschien Sokolow, wie oben erwähnt worden, der Blitz, welcher Richmann tödtete. Eben so erzählt Schübler *) von zwei Blitzen, welche in einen armsdicken Feuerstrom ausliefen, an dessen Ende man eine noch höher glühende Feuerkugel bemerkte. Auch Kämtz **) hat bei einem Gewitter mehrere helle Blitze, die sich in Feuerkugeln endigten, bemerkt.

Da Blitz und elektrischer Funke identisch sind, so gilt natürlich von jenem in Bezug auf Geschwindigkeit unter gleichen Umständen dasselbe, was von der Elektricität ermittelt worden ist. Wir verweisen deshalb auf Art. Elektricität Bd. II. S. 738—743 und heben hier nur hervor, daß nach Wheatstone das Licht der Elektricität von hoher Spannung noch nicht die Dauer von einem Milliontel einer Secunde hat, und daß nach demselben die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in einem Kupferdrahte 460000 Kilometer (62500 deutsche Meilen) in 1 Secunde beträgt, während Fizeau und Gounelle in einem Eisendrahte nur 100000 Kilometer, Walker ebenfalls in einem Eisendrahte 30000 Kilometer und Mitchel ungefähr 46000 Kilometer fanden. Außerdem hat Dove ***) nachgewiesen, daß die scheinbar dauerndsten Blitze aus einer raschen Aufeinanderfolge einzelner Entladungen bestehen.

Was die Bewegung des Blitzes im Zickzack anbetrifft, so hat man sie auf mehr als eine Art zu erklären versucht. Parrot ****) meint, man müsse sich die Atmosphäre als aus abwechselnden, mehr und minder feuchten kleineren und größeren Massen bestehend denken, und der Blitz gehe nun bei seiner Bewegung den feuchten, als den besseren Leitern nach. Diese Erklärung erscheint darum nicht genügend, weil auch der Funke der Elektrisirmaschinen sich im Zickzack bewegt, aber nicht füglich in der ruhigen, gleichmäßig erwärmten Zimmerluft, in welcher der elektrische Funke überspringt, ähnliche abwechselnd trockne und feuchte Schichten angenommen werden können. Passender scheint Helvig's Erklärung *****). Indem der Blitz die Luft in seiner anfänglichen geradlinigen Bewegung vor sich her treibt, werde diese endlich so weit zusammengepreßt, daß die Gewalt des Blitzes sie nicht weiter zusammenpressen könne, der Blitz springe daher ab, und indem sich dies öfter wiederhole, nehme sein Weg die zickzackige Gestalt an. Daß der Blitz nicht jedes Mal im Zickzack herabfährt, sondern zuweilen auch in gerader Linie, wie öfters bemerkt worden ist, steht hiermit nicht in Widerspruch; denn dies wird dann stattfinden, wenn die Entfernung der Gewitterwolke von dem Gegenstande, nach welchem sie sich entladet, sehr gering, oder die Entladung sehr stark ist. Der elektrische Funke theilt sich öfters in mehrere Aeste, besonders dann, wenn er gegen

*) Schweigger's Jahrb. N. R. Bd. XI. S. 36.
**) Meteorologie. Bd. II. S. 427.
***) Poggend. Ann. Bd. XXXV. S. 379.
****) Physik der Erde. §. 323. S. 462.
*****) Gilb. Ann. Bd. LI. S. 139.

eine Ebene oder eine Kugel von großem Durchmesser springt. Aehnliches geschieht auch zuweilen beim Blitze, und der Grund ist wahrscheinlich ein ähnlicher, nämlich großer Widerstand der zusammengepreßten Luft, auf welche der Blitz senkrecht herabfährt. Kämtz *) hat öfters eine Theilung in zwei Aeste, selten in drei bemerkt, und Muncke **) sah einen anscheinend senkrecht herabgehenden über 200 Fuß langen Blitzstrahl in lauter kleine Kügelchen sich auflösen. Am 20. December 1845 wurde während eines Hagelwetters das Schloß Boisyvon nahe bei Vire vom Blitze getroffen, und hierbei sah man eine feurige Kugel, welche sich in der Nähe des Blitzableiters theilte ***). Gehler meint ****), daß im Blitze eine innere wirbelnde Bewegung vorgehe, wonach er sich um cylindrische Körper, die er der Länge nach treffe, schraubenförmig herumbewege. Dieses wird bestätigt durch eine Erscheinung, welche v. Yelin mittheilt *****), wo nämlich um die einzelnen Drähte eines Blitzableiters, der aus einem aus Messingdrähten gewundenen Seile bestand, und der von einem Blitzstrahle getroffen und zerrissen worden war, die rings umhergehenden Brüche eine schraubenförmige Folge zeigten, auch die Aufsaugespitze an ihrem äußersten Ende geschmolzen und in ihrem übrigen Fortgange schraubenförmig gekrümmt war. Eine ebenfalls diese Ansicht bestätigende Thatsache erzählt Fiedler †):

In dem Park der Villa Borghese waren im Mai 1844 zwei starke, nahe bei einander stehende Pinien vom Blitze getroffen worden. Der Blitz hatte in die Krone der einen Pinie eingeschlagen, war an dem Stamme derselben eine kurze Strecke spiralförmig heruntergefahren, dann auf den Stamm der anderen übergesprungen und auch an dieser spiralförmig bis zur Erde heruntergegangen. Der Weg des Blitzes war durch einen fünf Centimeter breiten bis auf den Splint entblößten Streifen bezeichnet, welcher in gleicher Breite beide Bäume wie eine Schlange umwand. Harris ††) führt an, daß am 23. Februar 1799 ein Schiff vom Blitze getroffen und daß der Strahl spiralförmig am Maste heruntergelaufen sei. In der Nähe von Zeitz wurde im Mai 1850 eine Erle getroffen, und der Blitz war in zwei schraubenrechts gehenden Windungen am Stamme herabgegangen †††).

Der Blitz fährt im Allgemeinen nach dem nächsten Körper, zieht aber dabei die besseren Leiter der Elektricität den schlechteren vor.

Je größer die elektrische Spannung ist, desto größer wird auch die Schlagweite desselben sein. Die elektrische Spannung scheint aber von der Größe und Schnelligkeit des Niederschlages abzuhängen, weswegen wir auch meistens den Blitz aus dem dichtesten Theile der Wolke herabfahren sehen, und wo die stärksten Regengüsse sich ergießen. Sehr begünstigt wird das Herabfahren des Blitzes durch leitende Gegenstände, welche sich zwischen der Gewitterwolke und der Erde befinden,

*) Meteorologie. Bd. II. S. 428.

**) Nach einer Angabe von Pfaff in Gehler's phys. Wörterb. N. B. I. S. 1000.

***) Compt. rend. T. XXII. p. 177.

****) Phys. Wörterb. a. a. O.

*****) Ueber den am 30. April 1822 erfolgten merkwürdigen Blitzschlag ꝛc. 2. Aufl. München 1824.

†) Poggend. Ann. Bd. LXVIII. S. 299.

††) Nautical Magaz. for 1837. p. 395.

†††) Poggend. Ann. Bd. LXXXI. S. 577.

also namentlich, wenn sich tiefere Wolken unter der Gewitterwolke bewegen, oder wenn die Luft zwischen der Gewitterwolke und der Erde mit Feuchtigkeit geschwängert ist. Eine zwischenliegende Wolke kann auch selbst elektrisch werden und dann Blitze entsenden. Auf der Erdoberfläche trifft der Blitz besonders hoch hervorragende Gegenstände, doch ist auch die Gestalt der Gegenstände von Einfluß, so wie die mehr oder weniger guten Leiter, welche der Blitz antrifft. So ist es zu erklären, wenn zuweilen niedrigere Gegenstände, welche sich in der Nähe von höher emporragenden befinden, getroffen werden. So wurde am 11. Juli 1843 zu Straßburg die École de pharmacie getroffen, ungeachtet die in der Nähe befindlichen Gebäude der Universität höher sind und sogar einen Blitzableiter tragen *). Deswegen schlägt auch der Blitz häufig in rauchende Schornsteine ein, und, namentlich wenn er gezündet hat, wiederholt in die nämliche Gegend, weil da ein heißer gut leitender Luftstrom in die Höhe steigt. Ueber Gegenden, in denen sich keine hervorragenden Gegenstände befinden, und daher der Ausbruch der Elektricität länger zurückgehalten wird, sind die Schläge, wenn sie endlich erfolgen, besonders heftig, so z. B. auf dem Meere und auf dem freien Felde. Daß der Blitz in manche Bäume nie einschlage, ist sehr zweifelhaft, und wenn es wirklich der Fall wäre, so müßte der Grund in einer besonderen Beschaffenheit dieser Bäume, oder in ihrer Nähe befindlicher Ableiter der Elektricität gesucht werden.

Die besten Leiter der Elektricität werden vorzüglich von dem Blitze aufgesucht. Im Allgemeinen fährt der Blitz lieber an festen Körpern hin, als durch die Luft, und ist er daher einmal durch die Luft auf einen festen Gegenstand gekommen, so wird er nur dann auf seinem Wege bis zur Oberfläche der Erde denselben verlassen und durch die Luft auf einen anderen festen Körper überspringen, wenn dieser als ein besserer Leiter ihn anzieht. Metalle sind die besten Leiter, wie aller Elektricität, so auch des Blitzes; daher springt er von anderen Körpern auf diese über, und geht, so weit sie reichen, an ihnen fort. Besonders leicht trifft der Blitz metallene Knöpfe und Dächer auf Thürmen und Gebäuden. Bieten sich dem Blitze auf seinem Wege mehrere gleich gute Leiter der Elektricität dar, so theilt sich zuweilen der Blitz und geht auf beiden zugleich fort. Eine Theilung des Blitzes findet auch statt, wenn die Leitung im Verhältniß zu der Größe des Blitzes nicht zureichend ist, und andere Metallstrecken in der Nähe erreicht werden können. Dieses zeigte sich sehr deutlich bei dem von v. Yelin erzählten, bereits oben angeführten Blitzschlage. Der Blitzableiter war auf dem Kirchthurme zu Roßstall in Bayern, und da der Blitz auf demselben keine hinreichende Fortleitung fand, so theilte er sich am Zifferblatte, wo durch das viele Eisen des inneren Uhrwerkes eine starke Anlockung nach innen stattfand, ein Strahl verließ den Ableiter, zersplitterte die Hälfte des Zifferblattes und drang ein in das Innere des Thurmes, während zwei andere Strahlen den Ableitungsdrähten des Thurmes und der Kirche folgten. Besonders pflegt sich aber der Blitz zu theilen, wo er seinen Weg durch schlechte Leiter zu nehmen genöthigt ist, daher z. B. Strohdächer, vom Blitz getroffen, sogleich über und über brennen, und Häuser, an denen sich keine ableitenden Metallstrecken befinden, an vielen Stellen beschädigt werden.

Das Ziel des Blitzes ist fast immer die Erde und er schlägt den Weg ein, welcher ihn am kürzesten zu diesem seinen Ziele führt. Daher kann es wohl auch kommen,

*) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 552.

daß der Blitz von einem besseren auf einen schlechteren Leiter überspringt, wenn er auf diesem viel schneller zur Erde kommen kann. Deshalb weicht der Strahl von einem metallenen Thurmdache, dessen Rand unten nur auf die Mauer führen würde, mitten ab, um auf eine weiter herunterreichende Stange, einen Draht oder dergleichen zu springen. Es kommen indessen Fälle vor, wo große Massen von Elektricität auf solchen Leitern sich gleichsam anhäufen und eine gewisse Spannung bis zum Ausströmen erlangen, wenn der eigentliche Ableiter, dem sie folgen, nicht hinreicht, um die ganze Masse schnell genug abzuleiten. So wird ein Fall erzählt*), wo der Blitz den Ableiter eines Kirchthurmes traf, welcher auf das kupferne Dach geleitet war und von da der Erde zulief. Es ließ sich nirgends eine Spur von der Wirkung des Blitzes bemerken, aber an den Kanten des Daches sprühte überall sichtbar das Feuer umher.

Ganz besondere Verdienste um den hier in Rede stehenden Gegenstand hat sich im vorigen Jahrhunderte Reimarus, Arzt in Hamburg, erworben **). Bei einem Blitzschlage, welcher die Nicolaikirche zu Hamburg getroffen hatte, weist er in der ersten Schrift S. 10 — 16 entschieden nach, daß der Blitz dem Metalle gefolgt war. Wo sich an einander hängendes Metall gefunden, als vom Knopfe des Thurmes an, so weit die kupferne Bedeckung geht, ingleichen von der Thurmmauer an, so weit bleierne Rinnen gereicht, war Alles verschont geblieben; wo keine metallische Leitung gewesen war, hatte sich die Gewalt des Schlages deutlich geäußert. Aus den vielen derartigen Beispielen wollen wir nur noch (a. a. O. S. 35) eines Blitzschlages erwähnen, von welchem die Altonaer Kirche 1760 im Innern arg heimgesucht war, ohne daß man außen Beschädigungen verspürte. Reimarus zeigt, daß der Blitz von der mit Kupfer gedeckten Thurmspitze auf die in der Laterne hängende Stundenglocke gesprungen war; von hier vertheilte sich derselbe in die Uhr und ging von dieser zur Orgel auf einem Drahte, welcher von derselben zu einer Glocke führte.

Nächst den Metallen sind die besten Leiter für den Blitz Menschen und Thiere, besonders wenn sie sich im freien Felde befinden und da die hervorstechendsten Gegenstände sind. Sehr gefährlich ist es auch, wenn man sich zwischen zwei guten Leitern der Elektricität befindet, indem dann der menschliche Körper dazu dient, den Uebergang von dem einen zu dem anderen guten Leiter zu erleichtern. Auch verläßt der Blitz schlechtere Leiter, um auf menschliche oder thierische Körper überzuspringen. Daher ist es sehr gefährlich bei einem Gewitter sich unter einen Baum oder unter eine Hecke zu verbergen, oder an ein Haus zu stellen, welches keinen Blitzableiter hat. Befindet man sich während eines Gewitters auf freiem Felde, so ist das Rathsamste sich platt auf die Erde, womöglich in einen Graben zu legen. Auch muß man sich hüten, um einem Gewitter zu entgehen, sich stark zu erhitzen, weil die Dunstatmosphäre, welche sich dann um den Körper verbreitet, den Blitz noch mehr anlockt. Daß dem so sei, sieht man schon aus den häufig vorkommenden Fällen, wo Pferde, welche eingespannt und durch das Ziehen erhitzt waren, erschlagen wurden, während der Kutscher auf dem Bocke unversehrt blieb. Kleine Metall-

*) Allg. Lit. Zeitg. Jahrg. **1806**. Nr. **17**.

) Die Ursache des Einschlagens vom Blitze. Langensalza **1769. Vom Blitze. Hamburg **1778**. Neuere Bemerkungen vom Blitze. Hamburg **1794**.

stücke am Leibe getragen, wie Knöpfe, Ringe und dergleichen werden die Gefahr, vom Blitze getroffen zu werden, nicht eben sehr vermehren; dagegen können z. B. Tressen dazu dienen, den Strahl leichter an der Oberfläche der Körper hinzuleiten; trockne Kleider von Seide, Wolle, Haaren, Leder sind aber nicht geeignet den Blitz abzuleiten. Daß der Blitz so häufig gerade in die Bäume oder in die Getreidehaufen schlägt, unter denen Menschen Schutz gesucht haben, hat übrigens nicht seinen Grund in einer von den Menschen ausgehenden Anziehung, sondern weil man in der Regel die größten Bäume, die größten Getreidehaufen, als den meisten Schutz gegen das Unwetter versprechend, gewählt hat.

Nach den angeführten sind die besten Leiter für den Blitz alle nassen oder feuchten Gegenstände, weshalb derselbe beim Einschlagen in grünende Bäume seinen Weg durch den mit Saft angefüllten Zwischenraum zwischen Holz und Rinde nimmt und dabei letztere abschält oder mit Furchen durchreißt. Wir haben oben ein hierher gehöriges Beispiel von zwei Pinien angeführt. Auch Dämpfe und Rauch, welche während eines Gewitters aufsteigen, können zu Leitern des Blitzes dienen, der dann beim Herabfahren durch den Schornstein an dem Rußüberzuge desselben einen Leiter findet. Ueberzüge von leitenden kohligen Substanzen gewähren dem Blitze leicht einen Fortgang an ihrer Oberfläche, so z. B. ein Ueberzug von Kienruß und Theer. Henley *) führt an, daß 1776 der Blitz einen Schiffsmast an allen mit Kienruß und Oel bestrichenen oder getheerten Stellen unbeschädigt gelassen, an den übrigen mit Fett bestrichenen aber zersplittert habe. Cavallo **) fand, daß jede sehr stark aufgetragene Oelfarbe die Fläche vor den Beschädigungen der vorübergehenden elektrischen Schläge schütze.

Zuletzt fährt der Blitz immer nach der feuchten Erde oder dem Wasser. Merkwürdig ist dabei, daß er ohne weitere Beschädigung der Erde selbst sich an der Oberfläche derselben vertheilt. Daß meist die Oberfläche, nicht aber das Innere der Erde das Ziel des Blitzes sei, dafür spricht die von Reimarus ***) angeführte Erfahrung, wo der Blitz an Blitzableitern, die in die Erde versenkt waren, zwar seinen Weg bis ans Ende derselben verfolgte, aber von da aus Erde und Steinpflaster aufgewühlt hatte, um nach der Oberfläche der Erde zu gelangen. Der Grund zu der Erscheinung, daß die Oberfläche der Erde, auf welche der Blitz trifft, auch vom allerheftigsten Strahle, der eben noch vorher die schrecklichsten Verwüstungen anrichtete, nicht im mindesten verletzt ward, ist wohl eben derselbe, aus welchem auch die Kugel des Entladers bei der Elektrisirmaschine durch den stärksten Funken nicht beschädigt wird, während dieser Funke zwischenliegende Körper zerschmettert.

Ueber die Blitzröhren, welche sich bilden, wenn der Blitz durch Lager von Quarzsand hindurch geht, vergl. Art. Blitzröhren Bd. I. S. 860.

Der Blitz übt oft eine ungeheure mechanische Gewalt aus, besonders wenn er auf seiner Bahn auf schlechte Leiter trifft. So verschob der Blitz in einem Hause unweit Manchester am 6. August 1809 eine Mauer zwischen einem Keller und einer Cisterne, die 3 engl. Fuß dick und 12 Fuß hoch war, dergestalt, daß der weg-

*) Phil. Transact. T. LXVII. p. 85.
**) Vollständ. Abhandl. von der Elektr. Bd. I. S. 386.
***) Neue Bemerkungen. S. 26.

geschobene Theil an einer Seite 4 Fuß, an der anderen 9 Fuß aus seiner Lage entfernt war, wobei die hölzernen Verbindungsstücke ganz zerbrochen wurden *). Der fortgeschobene Theil enthielt 7000 Backsteine und wog etwa 52000 Pfund. Hierbei ist noch die Größe der Cohäsion dieser Theile in Rechnung zu ziehen, wenn man die ganze mechanische Wirkung erfahren will. Ein anderes Beispiel erzählt Muncke **). Ein Eichbaum, welcher über den Wurzeln einen Durchmesser von 3 Fuß hatte und ganz gesund gewesen zu sein schien, wurde vom Blitze getroffen. Eine Krone von drei, nahe ein gleichseitiges Dreieck bildenden Aesten, welche am Stamme einen Durchmesser von 1′ 5″ bis 2 Fuß hatten, wurde so abgebrochen, daß sie vertical herabfielen und mit Erhaltung der Rinde das Ansehen hatten, als wären sie durch ein stumpfes Beil mit einem einzigen Hiebe getrennt worden. Der Stamm war so zerstört, daß er fast ganz verschwunden war. Der Blitz hatte ihn seiner Rinde so beraubt, daß Muncke nirgends nur ein einziges Stück mit derselben bekleidet finden konnte. Sie war in sehr kleine Stücke zerrissen und weit umhergeschleudert. Eben so war der Stamm durch den Blitz in eine Menge Stücke von ungleicher Größe zerrissen, und auch diese waren weit zerstreut. Einige von letzteren zeichneten sich durch viele, vielleicht von hundert Fasern aus, welche wie Seile von 1 bis 2 Linien Querschnitt durch den Blitz gleichsam herausgedreht oder, wie mit einem Hohlmeißel, in der Länge von etlichen Fußen bis auf wenige Zolle aus der Masse gleichsam herausgestochen, an kleinen Fasern oder mit den Enden fest hingen. Nirgends zeigte sich die mindeste Spur von Zündung oder Verkohlung. Auffallend dabei war es, daß die Menge der zerstreuten Stammstücke viel kleiner war, als man nach der Größe des ganz gesunden Baumes hätte erwarten sollen; es war aber wenig wahrscheinlich, daß ein Theil des Holzes schon fortgetragen worden sei. Dieses Holz muß daher auf eine Art verschwunden sein, welche noch nicht bekannt ist, und Muncke fügt noch eine Thatsache hinzu, welche er von dem Mechanikus Schubarth in Marburg gehört hatte, daß einst auf dem Schlosse daselbst ein Sparren durch den Blitzstrahl ohne Zündung gänzlich zerstört und völlig verschwunden sei.

Wenn der Blitz bei seinem Herabfahren nicht bis zur Erde herabreichende ununterbrochene Leiter findet, sondern von einem zum anderen überspringen muß, so entsteht bei jedem solchen Uebergange eine Platzung. Dasselbe geschieht, wenn der Leiter nicht hinreichend für die Stärke des Blitzes ist. Dann wird der elektrische Strom gleichsam einen Augenblick gehemmt und sprüht rings herum, bis er einen neuen Leiter gefunden hat, und bei dieser Gelegenheit zeigt sich die zerstörende Gewalt des Blitzes. Befindet sich ein brennbarer Körper in der Nähe, so wird er entzündet. Besonders treten Platzungen dann ein, wenn der Blitz genöthigt ist, sich durch schlechtleitende Körper fortzupflanzen, und in diesem Falle tritt daher auch am häufigsten Entzündung ein. Den Blitz leiten aber alle Körper schlecht, welche überhaupt schlechte Leiter der Elektricität sind ***).

Nicht immer zündet jedoch der Blitz, selbst dann nicht immer, wenn er auf schlechte Leiter brennbarer Natur trifft. Man nennt solche nicht zündende Schläge

*) Manch. Mém. T. II. p. 2.
**) Poggend. Ann. Bd. VIII. S. 37.
***) Vergl. d. Art. Leiter der Elektricität und Art. Elektricität. Bd. II. S. 717.

im gemeinen Leben kalte Schläge. Dies kommt vielleicht daher, daß der Blitz in diesem Falle zu stark ist, und daher zu schnell über die Körper hinfährt, um Entzündung zu bewirken. Diese Ansicht erhält dadurch eine Bestätigung, daß auch der Funke der Elektrisirmaschine, wenn er sehr stark ist, Schießpulver nicht entzündet, sondern nur umherschleudert, während die Entzündung mit einem schwächeren Funken gelingt. Oft mag auch der Regen die schlechten Leiter so durchnäßt haben, daß die Feuchtigkeit dem Blitze zum Leiter dient. Der starke Luftzug, welcher bei einem heftigen Schlage stattfindet, löscht auch vielleicht die eben entstandene Flamme wieder aus. Es ist sogar vorgekommen, daß die Entzündung, welche ein Blitzstrahl verursacht hat, durch einen zweiten Wetterschlag wieder ausgelöscht worden ist. Dies entspricht der Erscheinung bei der Elektrisirmaschine, wo die Flamme, welche beim Durchgange eines schwächeren elektrischen Schlages aus dem Rauche eines glimmenden Dochtes angefacht war, durch einen stärkeren Schlag wieder ausgelöscht wird.

Hat der Blitz eingeschlagen, so will man häufig einen eigenthümlichen Geruch, den man als schwefelig oder brandig bezeichnete, wahrgenommen haben. Bei den Versuchen von de Romas verspürte man einen Geruch nach Schwefel, ein Gleiches wird bei Richmann's Tode erzählt. Bonjean vergleicht den Geruch mit dem von angezündetem Pulver, als am 14. Juni 1846 die Kirche zu St. Thibaud-de-Cour in der Nähe von Chambery vom Blitze getroffen wurde *). Boussingault, welcher sehr häufig Gelegenheit gehabt hat, ganz in seiner unmittelbaren Nähe Blitzschläge zu erleben, erklärt, daß es ihm nie gelungen sei, bei irgend einem einen Schwefelgeruch wahrzunehmen, und spricht sich dahin aus, daß das Auftreten eines derartigen Geruches bei Blitzschlägen nur dann wirklich anzunehmen sein dürfte, wenn es durch Sachverständige festgestellt sei, da die Laien nur zu leicht einen durchdringenden widerlichen Geruch für einen Schwefelgeruch auszugeben geneigt wären **). Auch Raschig ***) hat nichts von einem Geruche gespürt, als in seiner Nähe ein Blitz einschlug. Wo sich ein besonderer Geruch zeigt, ist es jedenfalls derselbe, welcher auch bei Elektrisirmaschinen bemerkt wird, nur in verstärktem Grade, und der nach Schönbein in einem Gase, von ihm Ozon genannt, seinen Grund haben soll ****).

Man hat bei Gewittern öfters Menschen und Thiere todt niederfallen sehen, obgleich der Schlag in einer großen Entfernung von der Stelle erfolgte, wo sie sich befanden. Man schreibt diese merkwürdige Erscheinung dem sogenannten Rückschlage zu, über welchen das Nähere in dem Art. Elektricität Bd. II. S. 737 und 738 enthalten ist. Deshalb beschränken wir uns hier darauf einige der interessantesten Fälle anzuführen.

Brydone erzählt *****): Am 19. Julius 1785 zeigten sich nach einem schönen heiteren Morgen um 11 Uhr Wolken in SO. vom Beobachtungsorte,

---

*) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 534. Compt. rend. T. XXIII. p. 153.

**) Poggend. Ann. Bd. LXVIII. S. 448. Compt. rend. T. XXIII. p. 919. Instit. No. 648. p. 187.

***) Gilb. Ann. Bd. XXXI. S. 204.

****) Vergl. Art. Ozon.

*****) Phil. Transact. T. LXXVII. p. 61. Cavallo, Elektr. Bd. II. S. 111. Reimarus, Neuere Bemerk. S. 13.

zwischen Mittag und 1 Uhr, mehrere entfernte Blitze. Zwischen ihnen und dem Donner vergingen 25 bis 30 Secunden. Plötzlich hörte Brydone einen Knall, als wenn mehrere Flinten schnell hinter einander abgefeuert würden, ohne daß sich vorher ein Blitz gezeigt hatte. Nicht weit von dem Hause war ein Mensch, Namens Lauder, welcher einen mit Kohlen beladenen Wagen fuhr, mit seinen Pferden erschlagen; sein Begleiter, welcher auf einem zweiten Wagen hinter ihm fuhr, hatte nur den Knall gehört und die Pferde stürzen sehen, dabei bemerkte derselbe aber keinen Blitz, fühlte auch keine Erschütterung. Mehrere Kohlen waren von dem Wagen umhergeschleudert. Etwa anderthalb Fuß hinter jedem Rade war in der Erde ein Loch von ungefähr 2 Zoll Durchmesser, dessen Mittelpunkt genau in der Radspur lag. Die Erde war um die Löcher aufgewühlt, das Eisen am Rade zum Theil oxydirt. Auch ein Schäfer, welcher sich mehrere hundert Schritte von der Stelle befand, sagte, er habe eben nach den beiden Karren gesehen, da er einen lauten Knall gehört und zugleich gesehen, daß die Pferde des ersten Karrens niedergefallen, er habe aber keinen Blitz oder Feuerschein gesehen, sondern nur daß Staub von der Stelle aufgeflogen; er fügte hinzu, der Vorfall habe sich nordwestlich von seinem Standpunkte ereignet, während er es nur südöstlich von diesem hatte blitzen sehen. Dabei zeigten sich in der Nähe noch mehrere ähnliche Erscheinungen. Ein Schäfer weidete seine Heerde auf einem nahe gelegenen Felde. Plötzlich sah er ein Lamm todt niederfallen und dabei hatte er eine Empfindung, als ob Feuer über sein Gesicht führe. Dieser Vorfall ereignete sich etwa eine Viertelstunde vor Lauder's Unfall und nicht über 300 Yards von der Stelle, wo dieser getödtet wurde. Eine Frau, welche unweit des Tweed, in dessen Nähe sich die ganze Begebenheit zutrug, Gras mähete, fiel plötzlich zu Boden und rief aus, sie hätte einen heftigen Schlag am Fuße erhalten und wüßte gar nicht, woher er gekommen. Eben so erzählt der Prediger Bell, er sei kurz vor diesem Unfalle in seinen Garten gegangen und habe zu wiederholten Malen ein merkliches Zittern des Bodens bemerkt.

Einen ähnlichen, aber nicht tödtlichen Fall erzählt Demonferrand *), der sich am 24. Septbr. 1826 in Versailles ereignete. In dem Momente, wo das Gewitter in einer eine halbe Lieue entfernten Meierei einschlug, empfand ein Bewohner der Stadt, welcher neben einer Dachrinne stand, eine heftige Erschütterung.

Aus den tödtlichen Wirkungen des Rückschlages ersieht man recht deutlich, daß der Tod nur durch die ungeheure Erschütterung und dadurch bewirkte gänzliche Vernichtung der Nerventhätigkeit herbeigeführt wird. Wird ein Mensch vom Blitze getödtet, so kann jedoch auch Erstickung mitwirkend gewesen sein; eine auffallende Zerstörung innerer Organe findet sich in sehr seltenen Fällen. Besonders merkwürdig ist in dieser Hinsicht ein Fall, wo ein Kind im Leibe der Mutter getödtet wurde, während die Mutter selbst unversehrt blieb außer einiger Verbrennung durch ihre entzündeten Kleider, die man nicht schnell genug wegschaffen konnte. Das Kind, welches einige Tage nachher völlig ausgetragen geboren wurde, hatte alle Zeichen eines Erschlagenen: der Hirnschädel war in kleine Brocken zerschmettert, die Haut auf dem Kopfe aber ganz; vorn am Leibe und an den Beinen war die Haut kenntlich vom Blitze abgestreift, hinten aber unverletzt **).

*) Ann. de chim. T. XXXIII. p. 418.

**) Lichtenberg, Mag. Bd. II. 4. S. 160.

Uebrigens werden Menschen nicht eben häufig vom Blitze getödtet. So wurden nach Lichtenberg *) in Göttingen in einem halben Jahrhundert und darüber nur drei Menschen vom Blitze getödtet und dazu nur bei zwei Schlägen, und in Halle wurde nach Kämtz **) im Jahre 1609 und darauf erst wieder 1825 ein Mensch vom Blitze erschlagen.

Bei allen vom Blitze Erschlagenen zeigten sich fleckweise und strichweise Versengungen, schwarze Streifen an der Oberfläche der Haut und der inneren Seite der Kleidung. Besonders stark waren diese an denjenigen Stellen, an welchen der Blitz zu- und abgesprungen war. Dort waren auch die Kleider durchbohrt. Außerdem fanden sich die stärksten Verletzungen da, wo die freie Ausbreitung unter der Kleidung am meisten gehindert worden war. Die von dem Blitze getroffenen Hautstellen starben als harte Borken ab, und die davon entstehenden Geschwüre widerstanden hartnäckiger, als andere einfache Geschwüre der Heilung. Merkwürdig ist, daß der Blitz zuweilen Zeichnungen auf der Haut zurückläßt, ganz ähnlich den Lichtenberg'schen Figuren ***) auf dem Elektrophor. Brandis ****) erzählt einen solchen Fall, wo sich auf der Brust eines vom Blitze erschlagenen Frauenzimmers Flecken von der Größe eines Guldens, mitten weiß und rund umher in strahliger Verästelung sich verlaufend zeigten.

Einen merkwürdigen Fall erzählt d'Hombres Firmas *****): Am 9. October 1836 wurde auf der Insel Zante der junge Politi von einem heftigen Blitzschlage getödtet. An dem Körper zeigten sich viele kleine Verletzungen, auch waren fast alle behaarten Theile versengt und die Haut braunschwarz gefärbt, namentlich auf der rechten Seite. Er hatte in einem Gürtel eingenäht 14 Goldstücke von verschiedener Größe auf dem bloßen Leibe getragen und zwar auf der rechten Seite 6, auf der Linken 8. Diese Goldstücke waren unversehrt geblieben, doch fanden sich auf der rechten Schulter 6 Kreise von verschiedener Größe, welche die natürliche Fleischfarbe behalten hatten und welche genau der Größe der 6 Goldstücke entsprachen, welche der junge Politi auf der rechten Seite getragen hatte.

Auch in denjenigen Fällen, wo äußere Verletzungen stattfanden, wo Knochen zerbrochen oder die äußere Haut verwundet wurde, finden sich doch die inneren feineren Theile unverletzt. In einem Falle, wo das Trommelfell im Ohre zerrissen und Spaltungen im Hirnschädel entstanden waren, fand sich doch weder die Haut noch die harte Hirnhaut durchbohrt, Gehirn und Eingeweide waren unverletzt und die übrigen Spuren zeigten offenbar ein Herabstreichen an der Haut. Wenn die Haut verwundet worden, so setzt der Strahl seinen Weg doch nicht durch die Blutgefäße fort, sondern fährt äußerlich herab.

Landriani †) fand bei Thieren, welche durch elektrische Schläge getödtet waren, die Pulsadern immer voll Blut, selbst noch viele Stunden nach dem Tode. Da durch den elektrischen Schlag die Reizbarkeit zerstört wird, so findet keine

*) Lichtenberg's Schriften. Bd. V. S. 201.

**) Meteorologie. Bd. II. S. 439, nach Schweigg. Jahrb. N. R. Bd. XXI. S. 4.

***) Vergl. Art. Elektricität. Bd. II. S. 751.

****) Versuch über die Lebenskraft. Hannover 1795. S. 108.

*****) Compt. rend. T. XXIII. p. 1060.

†) Dei Conduttori elettrici.

Zusammenziehung der Pulsadern, wodurch das Blut herausgetrieben würde, statt, und so erfolgt der Tod, ohne daß irgend ein Hauptgefäß zerrissen wird. Da die Reizbarkeit des thierischen Körpers von den Nerven abhängt, so hat man daraus geschlossen, daß der Blitz, wenn er den thierischen Körper treffe, durch die Nerven gehe; allein bei vom Blitze getödteten Menschen hat man nie Zerstörung der Nerven wahrgenommen, während diese doch noch viel feinere Leiter des Blitzes wären, als Metalldrähte, welche durch den Blitz geschmolzen, ja in Dampf verwandelt werden. Daß der Tod nicht durch innere Zerreißungen, sondern durch ein plötzlich eintretendes Aufhören der Nerventhätigkeit stattfinde, sieht man auch daraus, daß die vom Blitze getödteten Personen größtentheils unverändert in der Lage gefunden wurden, in der sie sich befanden, als der Blitz sie traf. So erzählt Reimarus*), daß zwei vom Blitze Erschlagene, die an eine Hecke, unter der sie Schutz gesucht, angelehnt waren, in ihrer früheren unverändert gebliebenen Lage, sogar mit offenen Augen, gefunden wurden, der eine mit einem Stücke Brod, welches er einem Hunde, der auf seinem Schooße geruht und der mit erschlagen worden war, reichen wollte; eben so eine Frau, die an einem Heuhaufen sitzend, vom Blitze erschlagen worden, und die so wenig verändert war, daß sie noch wie lebend aussah; ein Mensch, der hinten auf einem Boote saß, und der, vom Blitze getroffen, in seiner Stellung sitzend blieb und für blos schlafend gehalten wurde. Die vom Blitze getroffenen Menschen fahren auch weder auf, noch bemerkt man die geringsten Verzuckungen an ihnen, auch nicht Spuren derselben an den Leichnamen. Die Vernichtung der Nervenkraft ist auch der Grund, daß die Körper vom Blitz Erschlagener sehr schnell in Fäulniß übergehen, und daß das Blut in ihren Gefäßen nicht gerinnt, sondern flüssig bleibt.

Zur Rettung der vom Blitze Getroffenen scheint, nach Pfaff**), das dienlichste Mittel zu sein, daß man die gehemmte Lebenskraft durch angemessene Reize wieder aufzuregen und ihre Thätigkeit herzustellen sucht. Im ersten Augenblicke ist zur Wiederbelebung des vom Blitze getroffenen Scheintodten die frische Luft und besonders das Besprengen mit kaltem Wasser das wirksamste Hülfsmittel. Auch kalte Umschläge auf den Kopf können von Nutzen sein. Reiben mit flüchtigen Mitteln, insbesondere mit ätzendem Salmiakgeist, Klystiere von kaltem Wasser, Essig oder einem Aufgusse von reizenden Kräutern, Einblasen der Luft und der Gebrauch der Elektricität selbst, als des kräftigsten Reizmittels für die Nerven, sind nicht zu verabsäumen. Die elektrische Erschütterung ist in der Gegend des Herzens anzubringen. Ist der Körper schon kalt und erstarrt, so muß man freilich gleich anfangs suchen, die Wärme wieder herzustellen. Hierzu ist nebst dem Reiben ein vorzügliches Mittel das Auflegen einer Blase mit sehr heißem Wasser auf die Gegend der Herzgrube, welches selbst die Erwärmung durch ein ganzes Bad an geschwinder Wirkung übertrifft. Hat der Verletzte sich so weit erholt, daß er schlucken kann, so werden ihm auch innerlich, wie es die Wiederherstellung der Kräfte erfordert, nervenstärkende Mittel: Wein, Schwefeläther oder flüchtige Salze gegeben. Die Hautverbrennungen sind größtentheils nur oberflächlich und mit kühlenden Mitteln zu behandeln; nur auf den eingebrannten Stellen sind Eiterungsmittel anzuwenden.

*) Neuere Bemerkungen vom Blitze. S. 119.

**) Gehler's Physik. Wörterbuch. N. Bd. I. Art. Blitz S. 1024.

Regeln, um sich vor der Gefahr, vom Blitze erschlagen zu werden, zu schützen, sind eigentlich nur geeignet, ängstliche Personen noch ängstlicher zu machen und ihre peinliche Lage zu vermehren. Wir beschränken uns deshalb hier auf die Angabe derjenigen Maßregeln, von welchen dies am wenigsten zu besorgen sein möchte, und verweisen im Uebrigen auf Pfaff *). In einem Gebäude, welches mit keinem Blitzableiter versehen ist, vermeide man den Platz unter Kronleuchtern, welche an metallenen Stangen oder Ketten aufgehangen sind. Sich in einen Keller zu verkriechen ist wegen der Erstickung bei einem entstehenden Feuer gefährlich. Zugluft, namentlich trockne, bringt durchaus keine Gefahr und daher ist es nicht nöthig, die Zimmer bei einem Gewitter fest verschlossen zu halten. Befindet man sich außerhalb des Hauses, so gehe man nicht an den Mauern der Gebäude entlang. Auf dem freien Felde ist man am gesichertsten, wenn man sich in mäßiger Entfernung von einem höher emporragenden Gegenstande befindet. Auf Schiffen vermeide man die Nähe der Masten; der sicherste Aufenthalt würde hier unter der Wasserfläche im Schiffsraume sein.

Entsteht beim Einschlagen des Blitzes eine Feuersbrunst, so sind ganz dieselben Mittel zur Löschung anzuwenden, wie in jedem anderen Falle **).

Die Gefahren abzuwenden, mit welchen das Einschlagen des Blitzes verbunden ist, dazu dient der Blitzableiter, der Wetterableiter oder die Wetterstange. Es ist dies eine von Franklin erfundene Vorrichtung, durch welche dem herabfahrenden Blitze eine bestimmte Bahn angewiesen wird, so daß den mit dieser Vorrichtung versehenen Gegenständen kein Schaden zugefügt werden kann.

Wie Franklin den Nachweis führte, daß Blitz und elektrischer Funke identisch seien, ist oben und im Art. Drache, elektrischer angegeben; hier fügen wir noch hinzu, daß er bemerkt hatte, daß Spitzen den elektrisirten Körpern ihre Elektricität allmälig und ohne Funken entziehen. Indem er hierüber in einem Briefe vom Jahre 1749 spricht ***), setzt er hinzu, man werde davon einen sehr nützlichen Gebrauch zur Beschützung der Gebäude machen können. In einem Briefe vom Jahre 1753 bemerkt Franklin ****), daß der Blitz seinen Weg durch leitende Körper nehme und nur dann Platzungen (s. o.) stattfänden, wenn die leitenden Körper unterbrochen oder nicht hinreichend für die Größe des Blitzes oder zu schlechte Leiter wären. Daher meint er, würden ununterbrochene Metallstangen von zureichender Dicke entweder die Explosion ganz verhüten, oder wenn sie zwischen der Spitze selbst und den Wolken entstanden wäre, wenigstens so weit die Stange reichte, fortleiten. Er sagt ausdrücklich, daß er durch aufgerichtete Spitzen nicht eine gänzliche Verhütung aller Donnerschläge verspreche, sondern nur meine, daß eine Zurüstung, wie er sie anrathe, entweder den Schlag durch das allmälige Auffangen verhindern, oder, wenn ja ein Schlag entstünde, ihn durch die Ableitung ohne Schaden des Gebäudes oder Schiffes in die Erde, oder ins Wasser führen würde.

---

*) Gehler's Wörterb. a. a. O. S. 1032—1035.

**) Vergl. Art. Feuer. Bd. II. S. 144.

***) Franklin's Briefe übers. von Winkler. S. 87. Vergl. Franklin, Exper. and Observ. on Electricity. p. 59.

****) Briefe S. 163. Vergl. auch Lett. V. p. 90 u. Lett. XII. p. 117.

Soll die Leitung ihre Dienste leisten, so muß sie stark genug sein. Gute Leiter werden nur dann vom Blitze beschädigt, wenn sie nicht hinreichend zur Leitung sind. So werden dünne Drähte vom Blitze glühend gemacht, zerrissen und geschmolzen; bei sehr großer Dünnheit im Verhältniß zur Stärke des Blitzes auch in kleine Kügelchen und Dampf verwandelt. Beim Ueberspringen des Blitzes von einem Leiter zum anderen werden auch größere Metallstücke beschädigt, an ihren Flächen geschmolzen oder durchlöchert. Am 14. August 1833 wurde der Straßburger Münster in einer Viertelstunde drei Mal vom Blitze getroffen. Blei, Kupfer, Eisen, Mörtel, selbst Sandstein war an mehreren Stellen verbrannt oder geschmolzen; an einige Glocken waren die Hämmer fest gelöthet, so daß man viele Mühe hatte, sie wieder abzulösen *). Im Jahre 1816 führte der Blitz in Prag das Gold von einem vergoldeten Uhrzeiger auf das weiter unten befindliche Blei des Daches und vergoldete dieses **). In Paris schmolz ein Blitzstrahl in einem Hause alle Glockenzüge, ohne das Haus weiter zu beschädigen ***).

In Nordamerika wurden nach Franklin's Anweisung bald an mehreren Orten Blitzableiter errichtet. In Deutschland sind die Blitzableiter zuerst von Winkler vorgeschlagen worden ****). Die erste derartige Vorrichtung ist, wie Pfaff vermuthet, die des Procopius Divisch in Mähren gewesen *****), der schon im Jahre 1754 eine Art Blitzableiter errichtete und zu Prendiz bei Znaym am 9. und 10. Juli desselben Jahres Wetterwolken, die darüber hinzogen, sich zertheilen sah. Der erste Blitzableiter in England wurde 1762 zu Payneshill von Watson errichtet. In Hamburg ward 1769 der Jacobithurm mit einem Blitzableiter versehen. In Bayern errichtete zuerst Osterwald 1776 auf seinem Landhause einen Ableiter. Als auf die Kathedralkirche zu Siena im Toskanischen ein Blitzableiter gesetzt wurde, weil sie mehrmals durch Blitze beschädigt worden war, nannte das Volk denselben eine Ketzerstange; aber am 10. April 1777 fuhr der Blitz an dem Ableiter herunter und nicht einmal das Gewebe einer Kreuzspinne, welches zwischen dem Thurme und der Metallleitung sich befand, wurde verletzt. Nun fing man an die Ketzerstange zu achten †).

Unzählige Erfahrungen haben es bewiesen, daß ein gehörig angebrachter Blitzableiter das Gebäude, auf welchem er steht, vollkommen schützt, d. h. daß der Blitz, wenn er auf dasselbe schlägt, ohne Schaden anzurichten zur Erde fährt.

Im Allgemeinen werden die Blitzableiter von Metall, als dem besten Leiter der Elektricität verfertigt. Die Form aber, in welcher hierbei das Metall angewendet wird, ist eine dreifach verschiedene. Entweder nämlich bedient man sich breiter Metallstreifen, oder Stränge aus Metalldrähten geflochten, oder endlich eiserner Stangen. Doch begründet diese Verschiedenheit der Form des angewandten Metalles keine wesentliche Verschiedenheit der Blitzableiter in Betreff der Ableitung. Die Metalle, deren man sich bedient, sind das Eisen,

*) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 544.

**) Gilb. Ann. Bd. LVIII. S. 102.

***) Journ. de Phys. T. LXIX. p. 453.

****) Progr. de avertendi Fulminis artificio. Lips. 1753.

*****) Musschenbroek, Introd. T. II. §. 2543; vergl. Gehler's phys. Wörterb. N. B. Art. Blitzableiter. Bd. I. S. 1036.

†) Journal des Savans 1778. Fevrier u. Götting. Taschenbuch 1779. S. 37.

Kupfer oder Messing und Blei, von denen Kupfer der beste, Blei der schlechteste Leiter ist.

Bei jedem Blitzableiter sind mehrere Theile zu unterscheiden, nämlich 1) die Auffangestangen (wenn überhaupt solche angebracht sind), 2) die Leitung und 3) das Ende des Ableiters.

1) Die Auffangestangen oder Blitzfänger. Der Zweck der Auffangestangen ist zunächst den herabfahrenden Blitz auf sich zu ziehen, so daß nicht die umliegenden Theile des Gebäudes getroffen werden.

In Folge der Beobachtungen, welche Franklin über die Wirkung von Spitzen machte, war er der Meinung, ein Blitzableiter, welcher mit einer erhabenen Spitze versehen sei, müsse die Elektricität der Gewitterwolke gleichsam aufsaugen, oder, ohne daß ein Wetterstrahl erfolge, abzuleiten im Stande sein. Hiergegen hat man zwei erhebliche Gründe vorgebracht. Einmal nämlich ist auch die größte Menge von Stangen, die man auf einem Gebäude anbringen kann, so wie die größte Höhe derselben in gar keinem geeigneten Verhältniß zu einer mit Elektricität geschwängerten Gewitterwolke, um sie mit den Spitzen, welche man einer Elektrisirmaschine nähert, und durch die allerdings eine allmälige Entladung geschieht, zu vergleichen. Auch wird eine starke Elektrisirmaschine nur dann durch Spitzen entladen, wenn diese in geringer Entfernung vom Conductor der Maschine angebracht sind. Zweitens: Da die Erfahrung lehrt, daß die Elektricität durch Spitzen angezogen wird, aber auch, daß die Spitzen eines Blitzableiters nicht im Stande sind, den Ausbruch eines Gewitters zu hintertreiben, indem eine Menge von Fällen angeführt werden kann, in welchen der Blitz entweder in den Ableiter selbst oder in dessen Nähe einschlug; so sind die Blitzableiter mit Spitzen nicht allein nicht nützlich, sondern vielmehr gefahrbringend, indem sie die Elektricität anlocken, ohne im Stande zu sein, sie völlig abzuleiten. Diese letzte Behauptung schien besonders durch den Vorfall Bestätigung zu erhalten, daß im Jahre 1777 der Blitz in das mit einer spitzigen Ableitung versehene Artilleriehaus bei den Pulvermagazinen in Purfleet schlug, und zwar nicht nach dem Blitzableiter, sondern nach einer eisernen Klammer der Ringmauer, 46 Fuß weit von der Stange, welche 10 Fuß 2 Zoll lang war *). Man meinte nun, in diesem Falle habe die spitze Stange die Elektricität angelockt, ohne im Stande zu sein, dieselbe vollkommen abzuleiten. Wilson**) rieth deshalb, die Stangen der Blitzableiter mit Kugeln zu versehen. Blitzableiter mit Spitzen nennt man wohl auch offensive und die mit Kugeln defensive.

Aus dem erwähnten Vorfalle in Purfleet folgt indessen nur, daß die Wetterstange für ein so großes Gebäude, wie das Artilleriehaus, nicht hinreichend war, daß die Kraft den Blitz auf sich zu ziehen bei einer spitzen Stange von der angeführten Länge nicht 46 Fuß weit reiche, namentlich wenn sich Metall in der Nähe befindet. (Das Gebäude war mit Blei gedeckt.) Die Wetterstange wird nur in einem gewissen Umkreise den herabfahrenden Blitz auf sich ziehen und dadurch die umliegenden Theile eines Gebäudes schützen. Die französische Akademie der Wissenschaften schrieb als Regel vor, daß der Bitzableiter nur einen Umkreis

*) Phil. Transact. T. LXVII. p. 232.
**) Phil. Transact. a. a. O. p. 239.

beschütze, dessen Radius doppelt so groß sei als die Höhe desselben *). Indessen auch diese Regel scheint unzuverlässig zu sein, wie aus einem Falle hervorgeht, welcher sich am 27. Juli 1851 in Tallmadge (Summit County, Ohio) ereignet hat **), und Elias Loomis setzt deshalb den Radius auf das Anderthalbfache von der Höhe des Blitzableiters herab. Allein auch dies ist vielleicht noch zu viel, wie aus einem von Trechsler ***) angeführten Falle, bei welchem eine 15 Fuß hohe Stange ihren Schutz nicht einmal auf eine Entfernung von 16 Fuß erstreckte, hervorgeht.

Aus Versuchen, welche Nairne ****) an der Elektrisirmaschine angestellt hat, geht so viel mit Gewißheit hervor, daß Kugeln häufiger dem Schlage ausgesetzt sind als Spitzen, und daß der Blitz aus größerer Entfernung von einer bewegten Wolke eher nach einer Kugel fährt, als nach einer Spitze. Die Wetterstangen also mit Kugeln statt mit Spitzen zu versehen ist gänzlich unthunlich.

Noch weniger zweckmäßig erscheint der Vorschlag Wilson's †), die Blitzableiter unter das Dach des zu schützenden Gebäudes mit Kugeln versehen anzubringen, indem hier, soll der Blitz den Ableiter erreichen, jedesmal erst das Dach beschädigt werden muß. Weit empfehlenswerther ist der Vorschlag von Reimarus, gar keine hervorragenden Stangen anzubringen, sondern nur die metallische Leitung über alle hervorragenden Theile eines Gebäudes zu führen, wodurch freilich ein größerer Aufwand von Metall nöthig würde.

Bringt man Auffangestangen an, so müssen dieselben die höchsten Theile des Gebäudes wenigstens 3 bis 5 Fuß überragen. Nach der Länge dieser Stangen, welche man in der Regel von Eisen zu nehmen pflegt, ist eine verschiedene Dicke derselben nothwendig. Man arbeitet die Stangen, namentlich die längeren so, daß sie am unteren Ende am dicksten sind und von da nach der Spitze pyramidenartig zulaufen. Stangen von 5 bis 8 Fuß Länge giebt man unten einen Durchmesser von $^3/_4$ Zoll, und dieser steigt bei 21 bis 27 Fuß Länge bis auf 2 Zoll. Da die Spitze der Stange den Blitz zunächst anziehen soll, so ist es wünschenswerth, daß dieselbe nicht mit irgend einem unmetallischen Stoffe überzogen sei. Da nun Eisen leicht rostet, so pflegt man die Auffangestangen mit 9 bis 10 Zoll langen aufgeschraubten kupfernen Spitzen, welche im Feuer vergoldet sind, zu versehen; auch hat man Spitzen von Neusilber oder von Platin in Vorschlag gebracht. — Statt der pyramidenartig zugespitzten Auffangestangen empfiehlt Gütle ††) lanzenförmige Auffangespitzen, von denen er behauptet, daß noch nie eine vom Blitze beschädigt worden sei. Wegen der größeren Metallfläche, welche sie dem Blitze darbieten, sind sie jedenfalls geeigneter zu unschädlicher Auffangung des Blitzes, als jene, bei denen es allerdings häufig vorgekommen ist, daß sie zerstört, geschmolzen oder auch in der Schraube abgebrochen worden sind. Die

---

*) Gilb. Ann. Bd. LXXVII. oder Poggend. Ann. Bd. I. S. 416, 441, 442.

**) American Journ. 2 ser. T. X. p. 320; vergl. Krönig, Journ. der Phys. Bd. I. S. 555.

***) Gilb. Ann. Bd. LXIV. S. 234.

****) Phil. Trans. T. LXVIII. p. 303

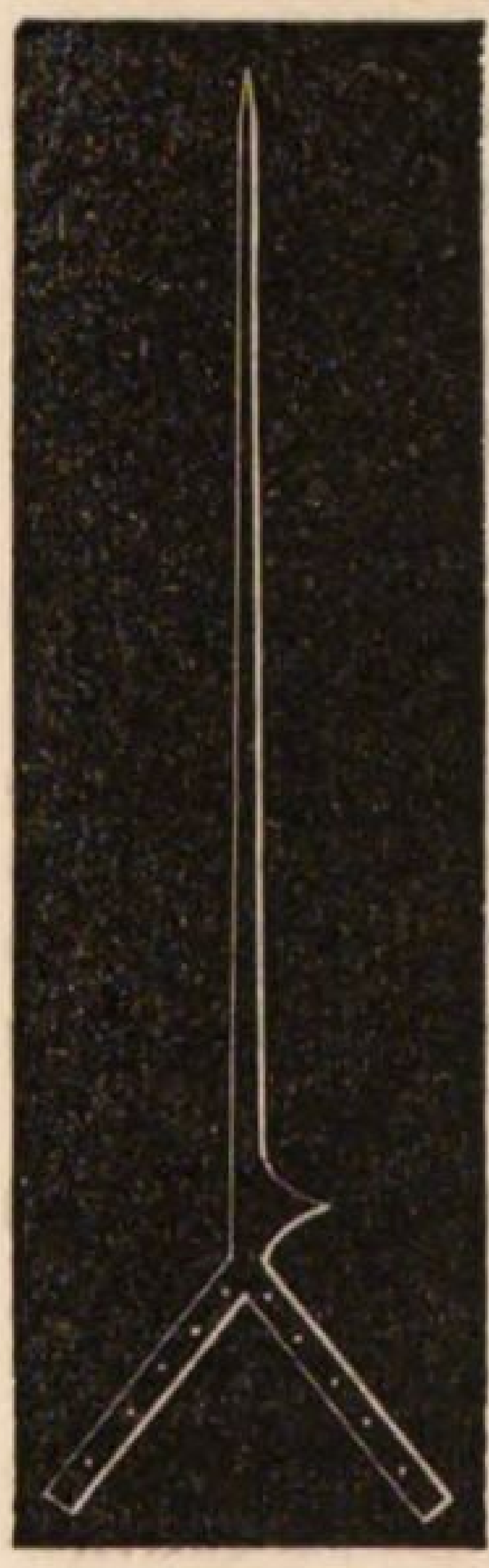
†) A. a. O. S. 249. Vergl. Priestley, Geschichte. S. 259.

††) Gilb. Ann. Bd. LXIV. S. 266.

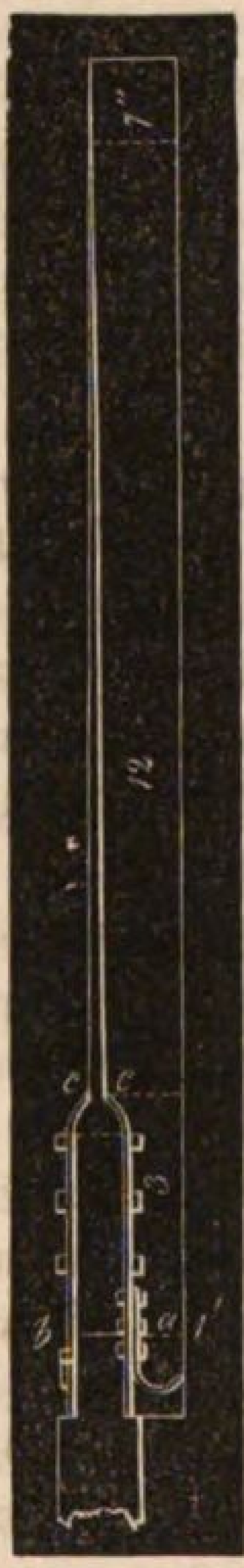
Gefahr, daß in einem solchen Falle durch das glühende herabfallende Metall eine Feuersbrunst herbeigeführt werden könne, liegt nahe, und deshalb darf jedenfalls die Spitze nicht sehr fein auslaufen.

Am Fuße der Stange, etwas über der Dachfirstlinie, pflegt man eine an die Stange angeschweißte Schiene anzubringen, um das längs der Stange herabfließende Regenwasser abzuleiten und zu vermeiden, daß dasselbe in das Innere des Gebäudes einsickere. Die Befestigung der Stangen geschieht mittelst eiserner Federn, welche an die Stange angeschweißt sind, (Fig. I.) und die an die Sparren des Daches angeschraubt oder mit Nägeln befestigt werden. Eine kürzere Säule von Holz pflegt neben der Stange aufgerichtet zu werden, um die letztere, welche an sie befestigt wird, vor dem Umwerfen durch den Wind zu sichern.

I.



II.



Längere Stangen befestigt man auf folgende Weise: Es seien a c und b c (Fig. II.) eiserne Federn, von beiläufig 3 Fuß Länge, $1^1/_2$ Zoll Dicke und 4 bis 6 Linien Breite, welche man so zusammen schweißt, daß sie die Gestalt einer Gabel haben, deren oberer Abstand 5 Zoll, der untere dagegen 6 Zoll beträgt. Dieser Gabel giebt man an dem einen Ende bei a mehrere viereckige, 3 bis 4 Linien weite und 2 Zoll von einander abstehende Löcher, woselbst die metallene Leitung angeschraubt wird. Soll diese auch auf der anderen Seite fortlaufen, so werden bei b eben solche Löcher angebracht.

III.



Bei Auffangestangen von größerer Länge als 6 bis 8 Fuß ist eine feste Verbindung derselben mit den Dachverbandhölzern um so mehr nothwendig und daher der Gebrauch von Pfählen, zu denen man am liebsten Eichenholz nimmt, anräthlicher. Durch 3 eiserne, einen Zoll breite und 3 Linien dicke Reifen, die man durch Hammerschläge möglichst fest antreibt, befestigt man die Gabel, und durch mehrere eiserne Stifte, welche man oberhalb jener Reifen einschlägt, verhütet man das Zurückweichen derselben.

Zu den Pfählen nimmt man gut ausgetrocknetes Holz und tränkt dasselbe überdies mit Pech. Man kann die Auffangestange auch an den Schornstein befestigen. (Fig. III.) Dann wird sie mittelst der Kröpfung bei c auf den Rand des Schornsteins gestützt und mit Nägeln bei b befestigt.

Nicht immer werden indessen die Auffangestangen auf dem Gebäude selbst angebracht, sondern man kann dieselben auch auf hohen, das Gebäude überragenden Masten in der Nähe desselben befestigen, wobei dann auch die Leitung unmittelbar an dem Maste heruntergeführt wird. Doch kann diese Einrichtung, wie in der

Natur der Sache liegt, nur bei niedrigen und kleinen Gebäuden zur Anwendung kommen. Gewöhnlich bedient man sich derselben zum Schutze von Pulverhäusern. Bei Thürmen, welche ohnehin in eine eiserne Spitze auslaufen, benutzt man die eiserne Spille als Auffangestange und pflegt zu dem Ende die oberste Spitze derselben zu vergolden.

Es ist immer besser zu viele, als zu wenige Auffangestangen anzubringen, ferner möglichst nahe an den hervorragenden Theilen des Gebäudes, besonders in der Nähe der Giebel. Endlich wird man auf die Umgebung des Gebäudes Rücksicht zu nehmen haben, indem anstoßende höhere Gegenstände, z. B. hohe Bäume schon von selbst Schutz verleihen, so daß hier eine Auffangestange anzubringen unnöthig sein würde, wie denn in einem solchen Falle ein Blitzableiter überhaupt überflüssig sein kann.

2) Die Leitung des Blitzableiters. Der Vorschlag von Reimarus, daß eine Leitung, welche alle hervorstehenden Theile eines Gebäudes überzieht, die Auffangestangen ganz entbehrlich macht, ist bereits oben erwähnt, und die Erfahrungen über die Entfernung, in welcher die Auffangestangen noch Schutz verleihen, lassen eine solche vollständige Leitung sogar vorzüglicher erscheinen. Neuerdings hat Henry bei mit Metall gedeckten Gebäuden besonders wieder hierauf aufmerksam gemacht *). Man hat nämlich weiter nichts nöthig, als die Dachrinnen, welche dazu dienen, das Wasser auf die Erde zu leiten, mit der Erde in leitende Verbindung zu setzen. Da nun ein Haus von mittlerer Größe gewöhnlich vier solche Rinnen hat (zwei vorn und zwei hinten), so reicht die Oberfläche derselben hin, selbst die stärkste elektrische Entladung ohne Gefahr abzuleiten. Nur bei Stroh-, Schilf- und Schindeldächern sind stets Auffangestangen zu errichten, weil hier beim Anspringen des Funkens aus der Wolke leicht Entzündung stattfinden könnte.

Reimarus schreibt vor, über die ganze Firſt des Daches von einem Ende des Dachrückens zum anderen, auch über die Schornsteine, und wenn Ecken, Frontspitzen oder hervorstehende Altane daran befindlich sind, auch über deren Gipfel und Rand eine zusammenhängende Metallstrecke zu führen. Sehr selten schlägt der Blitz in die Fläche des Daches, nie in die Seitenwände eines Gebäudes ein (mit Ausnahme der Rückschläge, gegen welche aber überhaupt kein Blitzableiter Schutz gewährt), und sind alle Kanten und vorstehende Punkte eines Gebäudes mit Metall bekleidet, so wird er stets nur diese treffen. Zu solch einer vollständigen Bewaffnung eines Gebäudes gegen den Blitz empfehlen sich am meisten Streifen von Blei. Kupfer leitet zwar die Elektricität noch besser als Blei, ist aber in den meisten Fällen zu kostspielig, und Eisenblech ist wegen des Rostes zu wenig haltbar. Verzinntes Eisenblech soll nach Trechsler **) sehr lange sich halten, indessen würde die geringste Verletzung der Verzinnung zu Zerstörung des Eisens durch Verrosten Veranlassung geben. Um das Blei vor dem Verwittern zu bewahren, muß es mit einer guten Oelfarbe bestrichen werden. Wollte man diese Vorsichtsmaßregel vernachlässigen, so würde man sich dadurch der Gefahr aus-

---

*) Dingler's polytech. Journ. Bd. CI. S. 43; Arch. d. sc. ph. et nat. T. IV. p. 183; Phil. Magaz. T. XXVIII. p. 340.

**) Gilb. Ann. Bd. LXIV. S. 234.

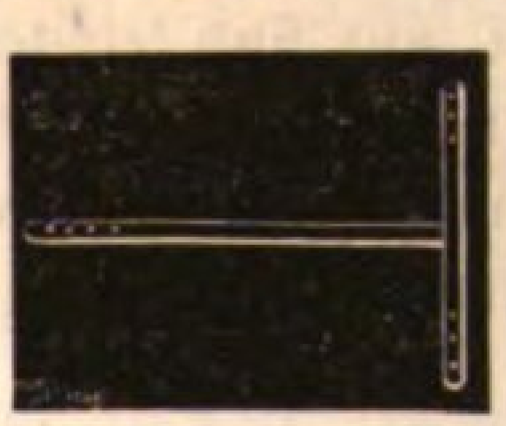
setzen; denn durch das Verwittern verliert das Blei an seiner Leitungsfähigkeit, und dann können leicht, namentlich an denjenigen Stellen, an welchen zwei Metallstreifen mit einander in Verbindung gesetzt sind, Platzungen und dadurch Entzündungen stattfinden. Dies war 1815 zu Dortmund der Fall, als der Blitz in den Reinoldithurm schlug *). Sieben Mal schlug in diesem Falle der Blitz durch das Blei und zwar da, wo Bleiplatten über einander genietet waren. Reimarus meint, daß Bleistreifen von 3 Zoll Breite auf Holz genagelt den Blitz unschädlich zur Erde leiten. Zu völliger Sicherung kann man jedoch, wenn etwa wegen großer Metallmassen (Glocken und dergl.) Anlockung nach dem Inneren des Gebäudes zu befürchten ist, an solchen Stellen doppelt so breite Streifen nehmen.

Nachdem man den Metallstreifen über alle hervorragenden Theile des Gebäudes geführt hat, muß er auf dem möglichst kürzesten Wege zur Erde geleitet werden, doch braucht man hierbei eben nicht sehr genau zu sein, indem der Blitz den Metallstreifen nicht verlassen wird, wenn er auch von der senkrechten Richtung abweicht, im Falle daß er nicht etwa einen kürzer zum Ziele (welches die Oberfläche der Erde ist) führenden Leiter findet. Unnütz ist es den Metallstreifen durch untergeschobene Stützen vom Gebäude entfernt zu halten, man kann vielmehr das Metall unmittelbar an das Gebäude selbst befestigen. In der Regel ist Ein Streifen hinlänglich, um die obere Leitung mit der Erde in Verbindung zu setzen, nur in Fällen, wo sich die Elektricität über große Metallstrecken ausdehnen kann, oder durch Metallmassen der Blitz leicht vom Ableiter abgezogen werden kann, ist es rathsam mehrere (breite) Streifen auf möglichst kurzem Wege herabzuführen. Alle irgend bedeutende Metallmassen, welche außerhalb des Gebäudes sich befinden, müssen mit der Leitung durch einen Metallstreifen in Verbindung gesetzt werden. Reichen solche Metallmassen (wie etwa Rinnen) nach der Erde herab, so sind sie mit dieser durch einen Metallstreifen in Verbindung zu setzen. Sind Metallmassen im Inneren des Gebäudes, so ist die Leitung möglichst weit von ihnen vorbeizuführen. So rieth Reimarus beim Anschariasthurme in Bremen die Ableitung nicht in der Nähe des Zifferblattes anzubringen, weil der Blitz sonst immer seinen Weg durch die Zeigerstangen genommen hätte; und in der That ist ein späterer Blitzstrahl auch der Ableitung gefolgt. Nach Reimarus wird nun die Leitung von Metallstreifen in folgender Art angebracht. Im Falle daß eine Auffangestange errichtet ist, wird um dieselbe am unteren Ende eine Bleiplatte gelegt und so angetrieben, daß sie wie mit einem Halsbande die Stange umfaßt. Um dieses wird ein eiserner Ring gelegt, der es fest an die Stange antreibt. Um die galvanische Wirkung der Feuchtigkeit hier, wo zwei verschiedenartige Metalle in eine so innige Berührung mit einander kommen, abzuhalten, ist ein reichlicher Ueberzug von Oelfarbe besonders nothwendig. Auf der Firſt des Daches wird ein Bleistreifen 3 bis 6 Zoll breit angebracht, den man an die Giebelpfosten und Schornsteine mit großen Nägeln befestigt, an den Firstziegeln aber an alle ihre Fügungen antreibt, und mit kleineren, am besten bleiernen Nägeln in dem Kalke der Fugen befestigt. Die Stücke der Bleistreifen werden mit einem Falze an ihren Enden in einander gelegt, und mittelst mehrerer Nägel tüchtig vernietet. Solche Streifen werden auch über den Rand oder die Kappe der Schornsteine hingelegt und an der Seite herunter

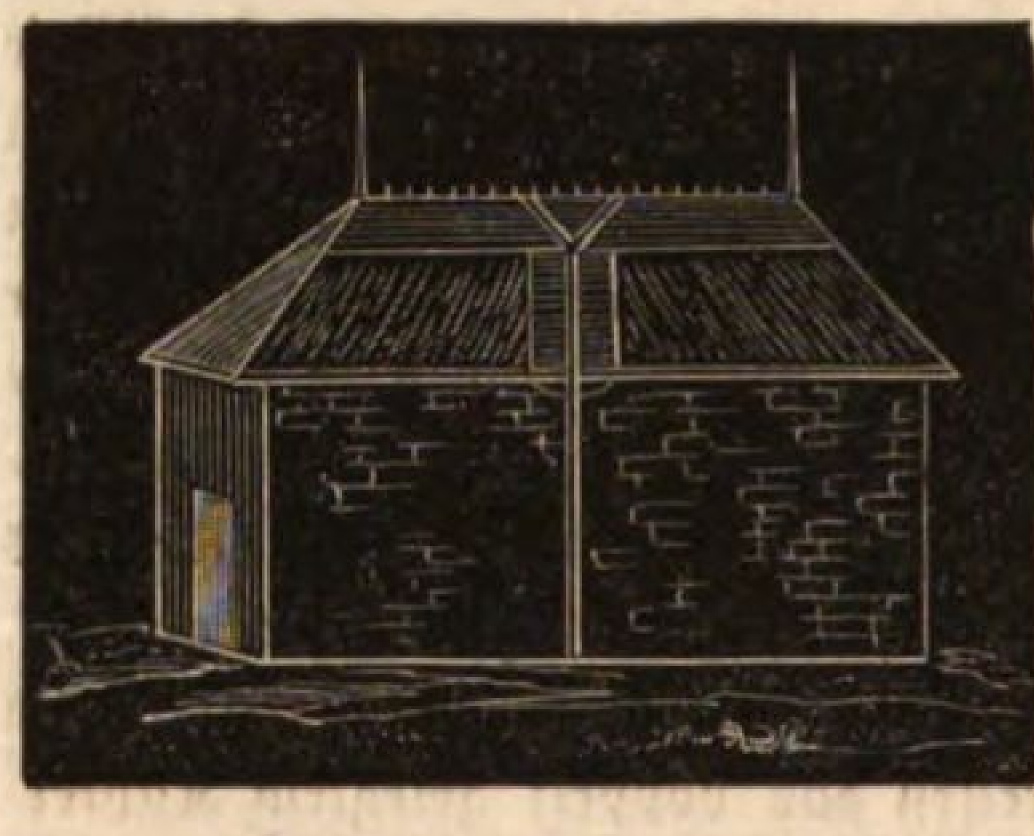
*) Gilb. Ann. Bd. L. S. 341.

mit dem Hauptstreifen verbunden. Mit dem Bleimantel der Auffangestange geschieht die Verbindung des Bleistreifens der First gleichfalls durch einen Falz, und ist die Auffangestange über dem Schornsteine errichtet, so wird der Bleistreifen bis unterhalb dieselbe hinaufgeführt und ersterer durch Nägel an dieselbe und an den Schornstein befestigt. Die Strecke der Ableitung am Gebäude herunter wird ebenfalls von 3 bis 6 Zoll breiten Metallstreifen auswendig herabgeführt; die Stücke derselben werden beim Blei mit einem einfachen Falze zusammengetrieben, beim Kupfer aber entweder durch einen einfachen Falz vernietet, oder mit einem doppelten Falze in einander gelegt, und wohl zusammengetrieben, auch, wo die darunter liegenden Theile es zulassen, mit Nägeln angeheftet. Der Falz muß aber bei heruntergehenden Streifen so gelegt werden, daß der Rand des oberen Stückes einwärts, der des unteren auswärts geschlagen ist. Wo die Ableitung frei über das Dach an einer Stelle, wo kein Winkel ist, oder wo sie nicht an dem Giebel anliegt, heruntergeführt werden muß, würden Bleistreifen oder einfache Kupferstreifen zu schwach sein. Man nimmt also dort einen Streifen aus doppelt gelegtem Kupferblech. Wo nun die Stücke desselben zusammengefalzt und vernietet sind, da wird ein dünner messingener Draht eingehakt, welchen man unter einem Dachziegel durchsteckt, und inwendig zur Befestigung um Nägel, welche in die Latten eingeschlagen werden, herumwickelt. Diesen Draht kann man, wenn etwas am Dache auszubessern ist, leicht lösen, den Streifen abheben, und hernach Alles wieder in Stand setzen.

Bei Stroh- und Schilfdächern, welche, wie oben gesagt, stets mit Auffangestangen zu versehen sind, darf man die Leitung nicht unmittelbar auf das Stroh oder Schilf anbringen. An beiden Enden des Daches, wenn es keine Giebelpfosten hat, sondern abgestützt und allenthalben mit Stroh bedeckt ist, wird eine Unterlage von Bretern angebracht, und darauf eine 4 Fuß lange, oben stumpfe eiserne Stange befestigt. Von dem hölzernen Rande an, welcher die Stange nach allen Seiten ein Paar Fuß weit umgiebt, wird ein breites Bret über das Stroh befestigt, dessen Ende noch über den Rand des vorragenden Strohs wenigstens einen Fuß weit hervorstehen muß, und von welchem ein anderes schräges Bret zur Wand hinabgeht. Auf diesem Brete wird sodann der bleierne oder kupferne Ableitungsstreifen, der mit der Stange wohl verbunden werden muß, angenagelt und weiter zur Erde herabgeführt. Eine gleiche Ableitung wird an dem anderen Ende von der Stange aus zur Erde geführt. Dies reicht vollkommen hin, wo keine weiteren Hervorragungen sich befinden, die eine Anlockung des Blitzes veranlassen könnten. Will man auch die First mit Metall versehen, so kann dieses, wo ein Paar Reihen Ziegeln am Dache liegen, auf gewöhnliche (oben angezeigte) Weise geschehen, bei einem bloßen Strohdache ohne Ziegelrücken muß über die ganze Länge der First ein Sattel von ein Paar Bretern wohl befestigt gelegt werden, auf deren Zusammenfügung sodann oben der Ableitungsstreifen angenagelt wird. Zur Befestigung der Breter am Strohdache bedient man sich am besten dünner eiserner, an den Enden mit Löchern versehenen Schienen (s. beistehende Figur), die durch das Strohdach durchgesteckt, mit dem einen Ende an dem unteren Ende des Sattels der First, zu beiden Seiten eins ums andere in einem Zwischenraume von 4 Fuß, mit dem anderen aber inwendig angenagelt werden. Durch ähnliche Schienen werden die herabgehenden Breter befestigt. Von



einer solchen Metallbekleidung, die von einem Ende des Firstes zum anderen reicht, darf dann nur irgendwo über die Seite des Strohdaches mittelst eines untergelegten Bretes ein Ableiter heruntergeführt werden, ohne daß es nöthig wäre, an beiden Giebelwänden eine Ableitung anzubringen, und wenn Dachziegeln auf der First liegen, so wäre auch, wenn das Gebäude nicht zu lang ist, eine Stange hinreichend. An einem Bauernhause, an welchem sich auf der First ein Schornstein befindet, muß jedoch allemal auch dessen oberer Rand mit Blei bedeckt, und davon ein Streifen auf untergelegten Bretern bis zur nächsten, am Ende des Daches stehenden Stange, oder bis zum Ableitungsstreifen geführt werden. In den Herzogthümern Schleswig und Holstein haben sich (wie Pfaff sagt) *) die auf vielen Wirthschaftsgebäuden, großen Kuhställen, Scheunen rc., nach dieser aus der beistehenden Figur leicht kenntlichen Vorschrift angelegten Wetterableiter in einer langen Reihe von Jahren vollkommen bewährt.



Es ist schon gesagt worden, daß man sich zu Anfertigung der Leiter auch des Drahtes bedient, und zwar vorzugsweise des Messingdrahtes. Saussure empfahl dieselben so anzufertigen, daß aus drei Drähten von der Dicke einer Schreibfeder Seile geflochten würden. Vorzugsweise sind diese Ableiter in Bayern gebräuchlich, es haben sich jedoch mehrere Fälle ereignet, wo die Drähte durch den Blitz in glühenden Zustand versetzt, geschmolzen und aus einander gerissen worden sind, aber keine Entzündung veranlaßt worden ist. Der Grund dieser Erscheinung ist einzig darin zu suchen, daß in jenen Fällen die Drahtseile zu dünn waren und daher keine genügende Leitung gaben. In allen jenen Fällen bestanden die Drahtseile aus Messingdraht, von dem 13 Fuß auf ein bayerisches Pfund gingen. Yelin hat deswegen gerathen, die Messingseile so zu verfertigen, daß höchstens 10 bayerische Fuß auf ein bayerisches Pfund kommen. Es ist aber jedenfalls besser ein Seil aus mehreren dünnen Drähten zusammen zu flechten, als einen eben so stark ins Gewicht fallenden massiven Metallstrang anzuwenden, weil dieser leicht Brüche haben oder bekommen kann, ohne daß sie äußerlich ins Auge fallen, in denen er aber im Falle, daß ein Wetterschlag an ihm herabfährt, zerrissen werden würde. Auch dünnere Drähte können solche Brüche haben, aber es wird sich wohl nie treffen, daß an einer und derselben Stelle sämmtliche Drähte, die in einen Strang zusammengeflochten sind, brüchig sind, und daher wird das ganze Seil halten, selbst wenn einzelne Drähte nicht fest wären. Den Ableitern aus Eisenstangen sind die aus Messingdrähten bei weitem vorzuziehen, nicht allein sind sie wohlfeiler, sondern sie lassen sich auch weit leichter handhaben, fügen sich geschmeidig um alle Vorsprünge und Kanten an, geben dem Gebäude ein besseres Ansehen, und sind leichter zu tragen. Außerdem gehört gar keine besondere Vorrichtung dazu sie zu befestigen, und sie können leicht ausgebessert werden. Die einzelnen dünnen Drähte lassen sich leicht an einander löthen, und so kann das ganze Seil eine beliebige Länge erhalten.

---

*) Gehler's Wörterb., N. Bd. I. S. 1066.

Vor den Ableitungen von Metallstreifen haben die von Metallsträngen den nicht unbedeutenden Vorzug, daß sie in einer ununterbrochenen Strecke fortlaufen, während die Metallstreifen in einander gefalzt werden müssen, und allerdings in diesen Stellen eine Zerreißung durch den Blitzstrahl leichter möglich ist, besonders da bei den Falzen sich leicht Feuchtigkeit sammeln und die Oxydation der Metallstreifen befördern kann. Um die Drahtseile vor dem Oxydiren zu schützen, muß man sie mit Oelfarbe wohl überziehen, sonst wird bei den Drähten allerdings ihrer Construction wegen Oxydation leichter stattfinden können, als bei Streifen oder Stangen. Böckmann hat Metallseile aus Eisendraht vorgeschlagen. Man soll 15 Eisenfaden zu einer Litze vereinigen und aus 4 dergleichen Litzen ein Seil bilden, welches alsdann einen Durchmesser von 7 bis 8 Linien besitzt. Um der Zerstörung durch Luft und Feuchtigkeit zuvorzukommen, wird jede Litze zuerst einzeln und dann noch überdies das ganze Seil mit Theer bestrichen. Wegen des leichten Rostens des Eisens wird aber diese Art Seile immer am leichtesten der Zerstörung ausgesetzt sein. — Die Seile können, um an den Gebäuden gehalten zu werden, durch Ringe, die mit Nägeln in das Gebäude befestigt sind, gezogen werden.

Die Ableiter von Eisenstangen oder Eisenschienen sind die ältesten, aber am wenigsten empfehlungswerthen. Sie lassen sich nur schwer beugen, und bekommen dabei leicht Risse, die nicht in die Augen fallen, in welche sich aber leicht Rost ansetzt, der dann weiter um sich greift. In solchen Fällen findet dann leicht eine Zerreißung durch den Blitz statt. Die Auffangestangen werden durch 12 bis 13 Linien breite und 3 Linien dicke Eisenstangen mit einander in Verbindung gesetzt. Die Befestigung der Ableitungsstangen mit den Auffangestangen wird durch Ringe oder Bänder vermittelt, welche um die Auffangestange gelegt sind und die Ohren haben, in welche die Ableitungsstangen eingenietet oder eingeschraubt werden. Die einzelnen Eisenstangen werden je zwei und zwei mit einem Ende zusammengeschweißt, an den anderen Enden werden drei Löcher, 3 bis 4 Linien weit und 3 Zoll von einander abstehend, angebracht; mittelst Schrauben, welche durch diese Löcher gesteckt werden, verbindet man diese Stangen unter einander, bis die erforderliche Länge erreicht ist. Wo die Stangen auf diese Art über einander geschraubt werden, wird zur Herstellung einer innigen Verbindung ein dünnes Bleiblättchen zwischengelegt. Um auf dem Dache die Verbindungsstangen zu tragen, kann man sich am besten gabelförmiger Wandnägel bedienen (s. beistehende Figur). Die beiden Lappen dieser Nägel müssen so weit aus einander stehen, als die Stange breit ist. Die ganze Leitung wird mit Oelfarbe bestrichen.



3) Das Ende der Leitung. Da das Ziel des Blitzes die Oberfläche der Erde ist, so ist diese auch das Ziel, bis zu welchem die Leitung reichen muß. Weil aber der Blitz sich vorzüglich in einer feuchten Oberfläche auszubreiten strebt, so sucht man die Leitung bis zu irgend einer feuchten Umgebung fortzusetzen. Das Vorzüglichste ist daher die Metallstrecke bis zu einer offenen Wassermasse fortzuführen. Da jedoch dieses nicht immer möglich ist, so sucht man im Allgemeinen den feuchtesten Ort der Umgegend des Gebäudes auf, und leitet dort die Metallstangen in den Boden. Man kann an diesen Ort, welcher niedrig gelegen sein muß, das Regenwasser zu leiten suchen. Jedenfalls muß das Ende der Ableitung eine Strecke von dem Gebäude weggeführt

werden, und in 3 bis 4 zugespitzte Enden auslaufen, die unter der Oberfläche des Bodens liegen. Man pflegt dann, damit das Metall nicht durch die Feuchtigkeit sobald verdorben wird, ein Lager von Holzkohlen anzubringen, welche das Metall nach allen Seiten umgeben, und das Ganze mit Erde zu bedecken. Von Einigen wird gerathen, wenn kein Wasser in der Nähe sei, ein Loch von 9 bis 12 Fuß Tiefe mit dem Hohlbohrer zu machen und darein die Leitung zu versenken, indem man den Zwischenraum mit Holzkohlen ausfüllt. Da es aber gewiß ist, daß der Blitz nach der Oberfläche strebt und sogar Fälle vorgekommen sind, wo er durch eine Metallleitung unter die Oberfläche der Erde geführt, dann mit Gewalt sich einen Weg zurückgebahnt hat, so ist es unnütz und sogar gefährlich, die Leitung in die Tiefe zu führen. Selbst da, wo trockner Sandboden ist, und der Blitz allerdings durch diesen hindurch nach feuchteren Erdschichten geht, scheint eine Verlängerung der Leitung nicht nöthig, weil der Blitz von selbst nach den feuchten Erdschichten hingeht (vergl. den Art. Blitzröhren). Ein ganz verderblicher Rathschlag ist der, welchen die Pariser Akademie gegeben hat, nämlich den Ableiter, wenn ein Brunnen im Innern des Gebäudes ist, durch die Mauern des Gebäudes in den Brunnen zu führen. Reimarus giebt den Rathschlag, die Blitzableiter nicht weiter als bis in die Oberfläche der Erde zu führen und mit einem etwa 1 Fuß vom Gebäude abstehenden Winkel endigen zu lassen, er erklärt sich aber gegen alle Versenkung derselben in die Erde.

Bei der Anfertigung von Blitzableitern muß man Rücksicht nehmen auf die Beschaffenheit der Gebäude, welche geschützt werden sollen. So z. B. bei Kirchen, welche mit einem Thurme versehen sind, wird der hoch angebrachte Ableiter des Thurmes die angebaute Kirche selbst großentheils schützen, und wenigstens wird nicht nöthig sein, die Kirche auf der Seite des Thurmes mit einer Auffangestange zu versehen. Bei Thürmen, welche in metallene Kreuze, Wetterfahnen und dergl. enden, hat man nicht nöthig eine besondere Auffangestange anzubringen, sondern man befestigt die Leitung unmittelbar an das metallene Kreuz oder den metallenen Stab der Wetterfahne.

Pulvermagazine, Pulverthürme und alle Gebäude, welche sehr leicht entzündliche Körper enthalten, sind mit besonderer Vorsicht gegen den Blitz zu schützen. Man stellt deswegen, um den Blitz außer aller Verbindung mit dem Gebäude zu bringen, hohe, dasselbe überragende Mastbäume in einer Entfernung von 6 bis 10 Fuß von dem Gebäude auf und versieht diese mit Blitzableitern, denen man eine mehr als gewöhnliche Stärke zu geben pflegt. Die Gebäude selbst aber müssen so gebaut sein, daß sie so wenig als möglich hervorragende Theile haben, und daß am wenigsten große Metallmassen äußerlich an ihnen angebracht sind.

Reimarus ist indeß der Meinung, daß, da man nicht genau wisse, wie weit sich der Schutz eines solchen an einen Mastbaum befestigten Ableiters erstrecke, es rathsamer sei, sich derselben bei Pulvermagazinen nicht zu bedienen, sondern dieselben ganz eben so wie andere Gebäude gegen den Blitz zu bewaffnen, und nur mit vorzüglicher Vorsicht und Umsicht reichliche Leitung anzubringen. Befinden sich in den unteren Theilen des Gebäudes Metallmassen, welche den Blitz anlocken könnten, so räth er in einiger Entfernung, etwa von 10 Fuß, einen Pfahl einzuschlagen, nach diesem vom Dache aus eine Leitung von Bretern zu legen, und über diese die Metallleitung zu führen.

Um Windmühlen gegen Blitz zu schützen, räth Bigot, sowohl das äußere Ende eines jeden Flügels, so wie den Gipfel der Haube (bei holländischen Windmühlen, wo der übrige Theil des Gebäudes feststeht und nur der obere gedreht werden kann) oder des Daches (bei Bockwindmühlen) mit einer Auffangestange zu bewaffnen. Bei den Flügeln sollen die Auffangestangen nicht zu lang sein, damit nicht dieselben beim Umlaufe der Flügel an den Boden streifen. Man befestigt am oberen Rande des unbeweglichen Gebäudetheiles einen eisernen Reif und führt die Ableitung von der Auffangestange der Haube oder des Hutes bis an dessen Rand herunter. An diesem Reifen ist nun ein Lappen rechtwinklig angeschweißt, mit dem die Ableitung durch Schrauben verbunden und sodann zur Erde heruntergeführt wird; der Fehler der Trennung des Ableiters wird hier durch die nahen Spitzen vermindert. Um eine noch größere Sicherheit zu bewirken und eine nähere Berührung der einzelnen getrennten Theile hervorzubringen, kann man an dem oberen Theile der Ableitung gleich über dem angeschraubten Querstabe noch einen Arm anschweißen, und erst seitwärts und dann über den Rand der Haube herunterbiegen, ihn dann in einen gelochten Lappen endigen lassen, und ein mehrfach zusammengelegtes, unten wie eine Quaste eingeschnittenes, bis auf den Rand des Reifen herabhängendes Blatt von Rauschgold darauf legen. Dieses letztere wird dann mit einem Lappen von Eisen oder Blei belegt und das Ganze fest zusammengeschraubt. Die Anfertigung der Quaste von Metallfäden statt von Rauschgold ist vielleicht noch dauerhafter. Diese Quasten können, bei ihrem etwaigen Abnutzen durch Reibung und andere Umstände, leicht wieder durch neue ersetzt werden. Das Anfrieren derselben an den Reifen kann dadurch vermieden werden, daß man solche bis zur Wiederkehr der Gewitterzeit in die Höhe bindet und so eine nähere Berührung mit dem Reifen vermeidet. Von der Auffangestange eines jeden Flügels läuft über dessen Ruthe gleichfalls eine Ableitung bis zu dem Ringe der Welle herab, an welchem man dieselbe mit den übrigen verbindet. Unter dem Kopfe der Welle schraubt man an einen angeschweißten Lappen des vorgedachten Ringes einen nach oben gekehrten eisernen Arm, und an diesen einen Querstab mit mehreren Spitzen, wovon die zwei äußeren etwas schief nach innen stehen, damit sie, so wie die mittleren, eine senkrechte Richtung nach dem Ringe der Welle haben. Endlich wird die untere Ableitung von dem am unbeweglichen Theile der Mühle befestigten Reife nach dem Erdboden herabgeleitet. — Zu Anfertigung von Blitzableitern auf Krahne theilt Bigot folgende Rathschläge mit.

Auch bei den Krahnen stellen die beweglichen Dächer, Hüte ꝛc. derselben dem Zusammenhange der Blitzableiter Schwierigkeiten in den Weg, welche man zwar dadurch verhüten kann, wenn man die Ableitung im Innern desselben anbringt, denn da der Schnabel, Hut und Wendebaum fest zusammenhängen, so kann man die Ableitung von der auf dem Hute befestigten Auffangestange zum oberen Theil des Wendebaumes hinführen und längs desselben bis zu der eisernen Platte, an welcher die Spindel angegossen ist, herunterleiten. Auf diese Weise wird die Ableitung mit der in den Boden eingelassenen Pfanne, worin die Spindel sich dreht, in Verbindung gebracht. Wird hingegen die Ableitung außerhalb am Krahne heruntergeführt, so läßt man ihn bis zum Rande des Hutes herunterlaufen und schraubt an deren Ende einen viereckigen, 6 Zoll langen eisernen Stab mit 3 feinen, von dessen Unterfläche gleich weit ab befestigten 4 Zoll langen kupfernen Spitzen an, deren eine in die Mitte, die beiden anderen an die Enden zu stehen kommen.

Am oberen Rande des unbeweglichen Daches führt man einen 3 bis 4 Zoll davon abstehenden aus Schienen zusammengeschraubten Reifen rings herum, so daß die vorerwähnten kupfernen Spitzen auf demselben senkrecht stehen. Hiernächst führt man die Ableitung von der Auffangestange, welche oben auf dem Hute befestigt ist, bis zu dem um den Rand des unbeweglichen Daches angebrachten eisernen Reifen, und versieht dieselbe mit ähnlichen Quasten, wie solches bei den Windmühlen angegeben worden, wonach dann die Ableitung, wie im Vorstehenden angeführt, nach dem Erdboden herabgeleitet wird. Es bleibt jedoch, bei der viel umständlicheren und schwierigeren Anbringung des Blitzableiters außerhalb des Krahnes, eine Fortleitung desselben im Innern zu bewirken, weit vorzüglicher und sicherstellender, indem in letzterem Falle keine Unterbrechung des Zusammenhanges stattfindet.

Die Blitzableiter pflegt man, wo sie in der Oberfläche der Erde auslaufen, mit einem Gitter oder einer lebendigen Hecke zu umgeben, theils um die Ableiter vor Beschädigungen zu schützen, theils weil, wenn die Atmosphäre mit Elektricität geschwängert ist, die Berührung des Ableiters gefährlich sein kann. Das Gitter wird passend einen Umfang von 5 bis 6 Fuß haben, und man hat darauf zu sehen, daß sich im Innern desselben keine leicht entzündlichen Stoffe anhäufen, denn man hat die Gegend um das Ende des Blitzableiters bei einem Schlage, der von demselben aufgefangen wurde, häufig wie mit Feuer übergossen gesehen.

Um Schiffe gegen Beschädigung durch Blitzschläge zu schützen, ertheilte bereits 1762 Watson den Rath *), eine kupferne Ruthe, ungefähr von der Dicke eines Gänsekiels mit den Spindeln und dem Eisenwerke des Mastbaumes in Verbindung zu setzen, bis auf das oberste Verdeck herabgehen zu lassen, und ihr alsdann eine solche bequeme Richtung zu geben, daß sie beständig das Meerwasser berühre. Reimarus schlägt Ketten vor von dünnen messingenen, oder noch besser kupfernen Stangen von derselben Dicke, deren Glieder etwa eine Elle lang seien, (also ähnlich den Meßketten) weil die oberen Stengen des Mastes durch den Mastkorb herabzulassen seien und daher die Ableitung von der Spitze des Mastbaumes bei den Tauen, Pardunen, seitwärts heruntergeführt werden müsse. Die Bequemlichkeit erfordere jedenfalls eine biegsame Zurüstung. Die Gelenke müßten aber nicht mit blos umgebogenen Enden zusammengehakt sein, sondern wohl in einander schließende Gewände haben, deren eines vorwärts, das andere seitwärts zu biegen wäre, weil bei geringerem Zusammenhange Funken und Anschmelzungen entstehen, welche den nahen Schiffstauen gefährlich werden könnten. An dem Ende der obersten Maststenge müsse eine kleine Rolle befindlich sein, mittelst welcher, wenn ein Gewitter herankomme, das erste oben nicht scharf zugespitzte Glied der Kette so hoch aufgezogen würde, daß es etwa einen Fuß über die Mastspitze hervorrage. Alsdann werde der Ableiter längs dem Taue, welches die große Maststenge hält, heruntergeführt und dann hier und da mit Bindstöcken befestigt; das unterste Ende der Kette aber lasse man über Bord ins Wasser hängen. Wir führen ein für diese Einrichtung sprechendes Beispiel an. Am 19. April 1827 wurde das Packetboot New-York zweimal vom Blitze getroffen. Der erste Schlag verursachte manchen Schaden, der zweite wurde durch die mittlerweile aufgezogene Kette glücklich abgeleitet **).

*) Phil. Transact. T. LII. p. 633. Priestley, Geschichte. S. 256.

**) Nautic. Magaz. for 1837. p. 453.

Diese aus einer Kette bestehende Vorrichtung hat sich indessen wegen der an den Gelenken häufig stattfindenden Platzungen, meistens in Folge der Schwankungen des Schiffes, als nicht ganz zuverlässig gezeigt, und daher verfährt man neuerdings nach einer von Harris gemachten Angabe *).

Dieser stellte sich die Aufgabe einen Blitzableiter für Schiffe zu construiren, welcher von dem Flügelspill auf der Spitze des Mastes continuirlich herabginge, seiner ganzen Ausdehnung nach fortwährend angemacht wäre, die Bewegbarkeit der einzelnen Maststücke gestattete und weder an festen noch beweglichen Theilen der Takelage streifte; außerdem sollte, falls ein Theil des Mastes durch irgend einen Zufall abbräche oder absichtlich abgenommen würde, der noch bleibende Theil des Ableiters eine vollständige Ableitung des Blitzes bis ins Wasser bieten.

Er erreichte dies dadurch, daß der Blitzableiter mit dem Maste selbst in fester Verbindung steht und ihm in allen seinen Theilen angepaßt ist. Wo eine Verschiebung einzelner Theile erforderlich ist, eben so durch die anderen Theile des Schiffes, durch den Kiel und mit dem Kupferbeschlage ist eine genaue metallische Verbindung hergestellt, so daß unter allen Umständen die Elektricität auf dem kürzesten Wege eine Ableitung zum Wasser findet.

Der Ableiter selbst besteht aus zwei dünnen kupfernen Streifen a a′, b b′ der beistehenden Figur, von denen der eine auf dem anderen liegt, und ist aus Stücken von etwa 4 Fuß Länge zusammengesetzt, welche so übereinander liegen, daß die Enden der einen ungefähr auf die Mitte der anderen fallen, wie die Figur zeigt. Die Breite beträgt $1^1/_2$ bis 6 Zoll, je nach dem Durchmesser der Masttheile, an welchen sie befestigt werden, und ihre gesammte Dicke $^3/_{16}$ Zoll, von denen $^1/_8$ Zoll auf den oberen und $^1/_{16}$ auf den unteren Streifen kommt. An den Enden n, n_1, n_2 ꝛc. sind die einzelnen Stücke an der anderen Platte angenietet.



Ehe die Streifen an den Mast befestigt werden, werden sie der Krümmung des Masttheiles, an welchen sie befestigt werden sollen, angemessen gewölbt, indem man sie der Länge nach auf einem entsprechend gekrümmten Holzblocke hämmert. Ebenfalls noch vor dem Festmachen wird die obere Platte am Rande mit Löchern zum Annageln versehen. Jetzt erst werden die Streifen an einander genietet, und dann mit der hohlen Seite einwärts in eine am Maste ausgearbeitete Nuth gelegt, so daß die Oberfläche der Streifen mit der des Mastes zusammenfällt. Die Befestigung geschieht durch kupferne Nägel.

Diese Leitung wird über die Spitze des Mastes weg gebogen und auf der entgegengesetzten Seite befestigt; am untersten Ende reicht sie noch unter die Verbindungsstelle mit dem sogenannten Eselshaupt (Eselhooft) etwas herab, wenn der Mast vollständig in die Höhe geschoben ist. b n und c m der umstehenden Fig. I.

Das Eselshaupt ist auf ähnliche Weise eingerichtet, indem zwischen der viereckigen und runden Oeffnung desselben ein doppelter kupferner

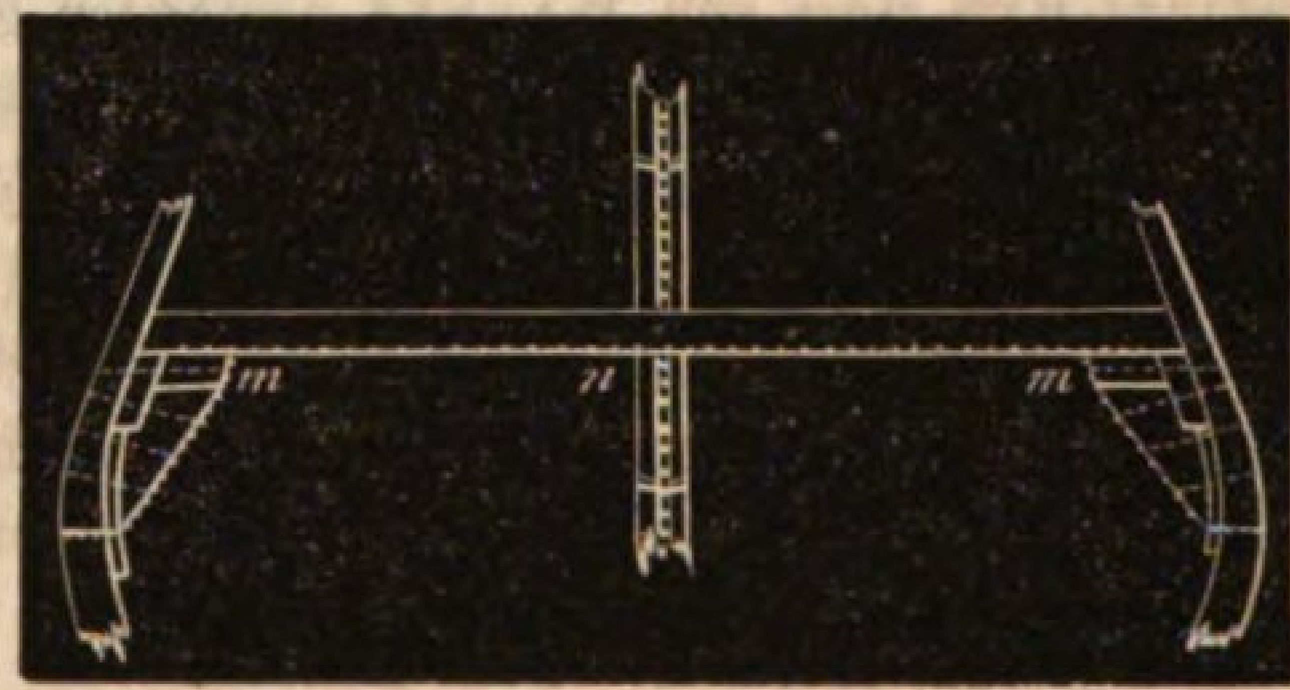
*) Nautic. Magaz. for 1837. p. 738. Vergl. auch p. 394, 449, 531, 584, 821, for 1838. p. 111, 309 und folgende Bände.

Streifen auf der oberen Seite eingelegt ist. e f in Fig. II. Hierdurch wird, da überdies das runde Loch auf seiner hinteren Seite eine kupferne Bekleidung

I. II. III.







erhält, eine leitende Verbindung mit dem nächsten Maste hergestellt (s. b und c der Fig. I.).

Der Fuß des untersten Maststückes ist mit einem doppelten kupfernen Streifen armirt, welcher ganz unter dem Fuß selbst hinweg geht und mit einem breiten Kupferstreifen auf dem Schweinskiele in Verbindung tritt (d Fig. I.).

In dem Raume wird die Leitung auf folgende Weise angebracht: Auf dem Schweinskiele werden auf jeder Seite des Mastfußes doppelte Kupferstreifen von 6 Zoll Breite angebracht, welche sich über 5 bis 6 Kielbolzen erstrecken. Gehen diese Kielbolzen durch den Schweinskiel und eigentlichen Kiel direct bis zum Kupferbeschlage, so ist die Leitung vollständig; wenn dies aber nicht der Fall sein sollte, so muß man noch andere Bolzen einschlagen, um die Verbindung herzustellen.

In gleicher Weise führt man, wo der Mast in den Raum eintritt, kupferne Streifen unter den Deckbalken hinweg nach den Schiffsseiten, und setzt sie dort mit den an den Knieen und Spanten befindlichen metallischen Theilen in Verbindung (n und m in Fig. III.).

Eben so gehen Streifen von dem Fockmaste nach dem Buge und von dem Besahnmaste nach dem Hintertheile, wo sie mit Bolzen und anderen metallischen Gegenständen verbunden werden, und nach außen eine Leitung erhalten. Damit durch eine Verschiebung des Mastes die Leitung nicht unterbrochen wird, bringt man an denselben wohl auch glatte Metallplatten an, welche mit den seitwärts gehenden Streifen fortwährend in Berührung bleiben.

Da es Fälle giebt, daß der Blitz in das Bugspriet eingeschlagen hat, so ist es gut auch den Klüverbaum und das Bugspriet auf der unteren Seite in gleicher Weise zu armiren und die Ableitung mit dem Kupfer am Vordertheile in Verbindung zu setzen.

Wo die Stengen durch das Eselshaupt gehen, bringt man zweckmäßig noch eine federnde Platte an, um jedenfalls eine leitende Verbindung zu haben, wenn etwa die Stenge Spielraum haben sollte.

Die Gelegenheiten, durch den Blitz beschädigt zu werden, sind in neuerer Zeit vermehrt worden durch die elektrischen Telegraphen mit oberirdischer Lei-

tung. Eine längere oberirdische Leitung wird fast in jedem Sommer einmal vom Blitze getroffen, der dann die Tragpfosten, zuweilen auch einen Theil des Drahtes und die Instrumente zerstört oder beschädigt.

Henry *) hat die wichtigsten Erscheinungen dieser Art auf vier Hauptquellen zurückgeführt:

Erstens kann der Draht, der nach Steinheil's Ausdrucksweise einen Blitzableiter von colossalen Dimensionen bildet, aus denselben Ursachen von einem Blitzschlage getroffen werden, aus denen hoch und vereinzelt liegende metallische Körper dem Blitze so sehr ausgesetzt sind.

Zweitens kann auch ohne Vorhandensein einer Gewitterwolke durch die Verschiedenheit des elektrischen Zustandes der Atmosphäre an zwei verschiedenen, weit von einander entfernten Stellen der telegraphischen Linie ein dauernder galvanischer Strom in dem Drahte entstehen **).

Drittens kann die natürliche Elektricität des Drahtes durch die Induction einer entfernten Wolke gestört werden ***).

Viertens werden kräftige Ströme (Rückschläge) in dem Leitungsdrahte erzeugt durch die Einwirkung dynamischer Induction von jedem Blitzstrahle, der im Umkreise von vielen Meilen der Linie stattfindet.

Steinheil scheint zuerst den Gedanken, die Zeichengeber der Luftelektricität zu entziehen, zur Ausführung gebracht zu haben ****). Er beobachtete, daß der in den Drahtrollen überspringende Funke lieber die kleine Schlagweite von Windung zu Windung wählt, als den Umweg durch den Draht zu machen, während im Gegentheil der galvanische Strom eher eine continuirliche Kette von vielen hundert Meilen durchläuft, als daß er auf ganz kurzem Wege den Kreislauf mittelst Ueberspringens über eine in der Leitung befindliche, noch so kleine Unterbrechung vollendet.

Hiernach richtete Steinheil im Jahre 1846 auf der München-Nanhofener Linie seine Blitzableiter so ein, daß der Leitungsdraht a a (auf umstehender Fig. I.) über dem Stationshause durchschnitten und seine Enden an zwei blos durch ein feines Seidenzeug getrennten Kupferplatten P, P' angelöthet wurden. Zwei feine Drähte b, b' führten von diesen Platten zu dem Telegraphenapparate. Die atmosphärische Elektricität nahm in diesem Falle den kürzesten Weg von P zu P' durch Ueberspringen und würde im ungünstigsten Falle die feinen Drähte b, b' abgeschmolzen haben, bevor sie zu dem Zeichengeber gelangte, während der galvanische Strom nur auf dem Wege a a P b — b' P' a oder umgekehrt circuliren konnte, und daher allemal die Zeichengeber berühren mußte. — Seit der Einführung dieser Ableiter wurde auf der genannten Linie selbst bei den heftigsten Gewittern in den Drahtrollen weder Knistern noch Funkensprühen mehr bemerkt *****).

Breguet †) und Fardely ††) haben ähnliche Vorrichtungen zur Aus-

---

*) Dingler's Journ. Bd. CIV. S. 265.

**) Vergl. Baumgartner in Poggend. Ann. Bd. LXXVI. S. 135 und Siemens ebendas. Bd. LXXIX. S. 484.

***) Vergl. Baumgartner a. a. O.

****) Müller, Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik. Braunschweig 1849. Bd. I. S. 622. Schellen, der elektromagnetische Telegraph. Braunschweig 1850. S. 307.

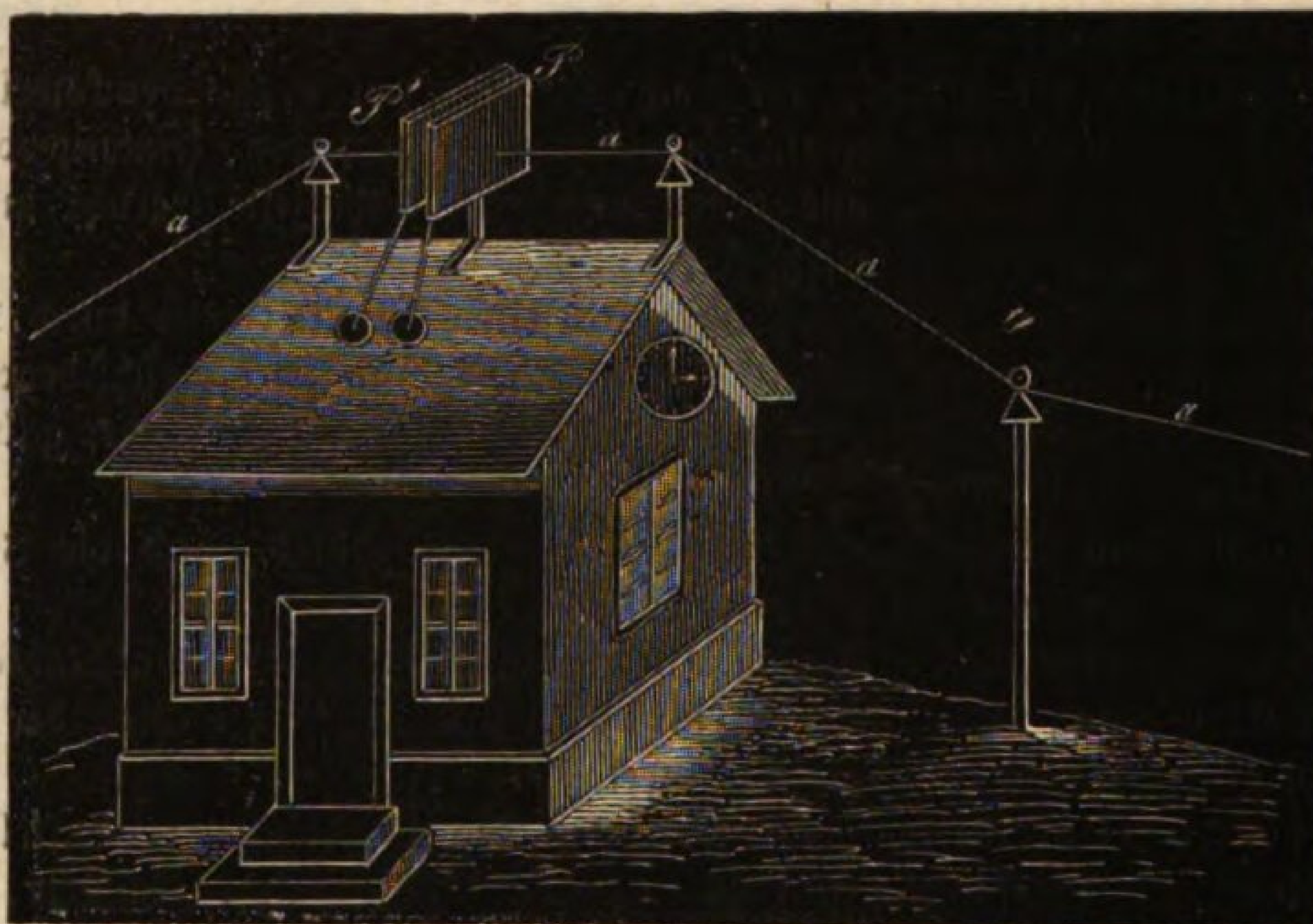
*****) Dingler's polyt. Journ. Bd. CIX. S. 350.

†) Compt. rend. T. XXIV. p. 981.

††) Dingler's Journ. Bd. CIX. S. 113. Mannh. Gew.-Ver.-Blatt. 1848. Nr. 4. u. 5.

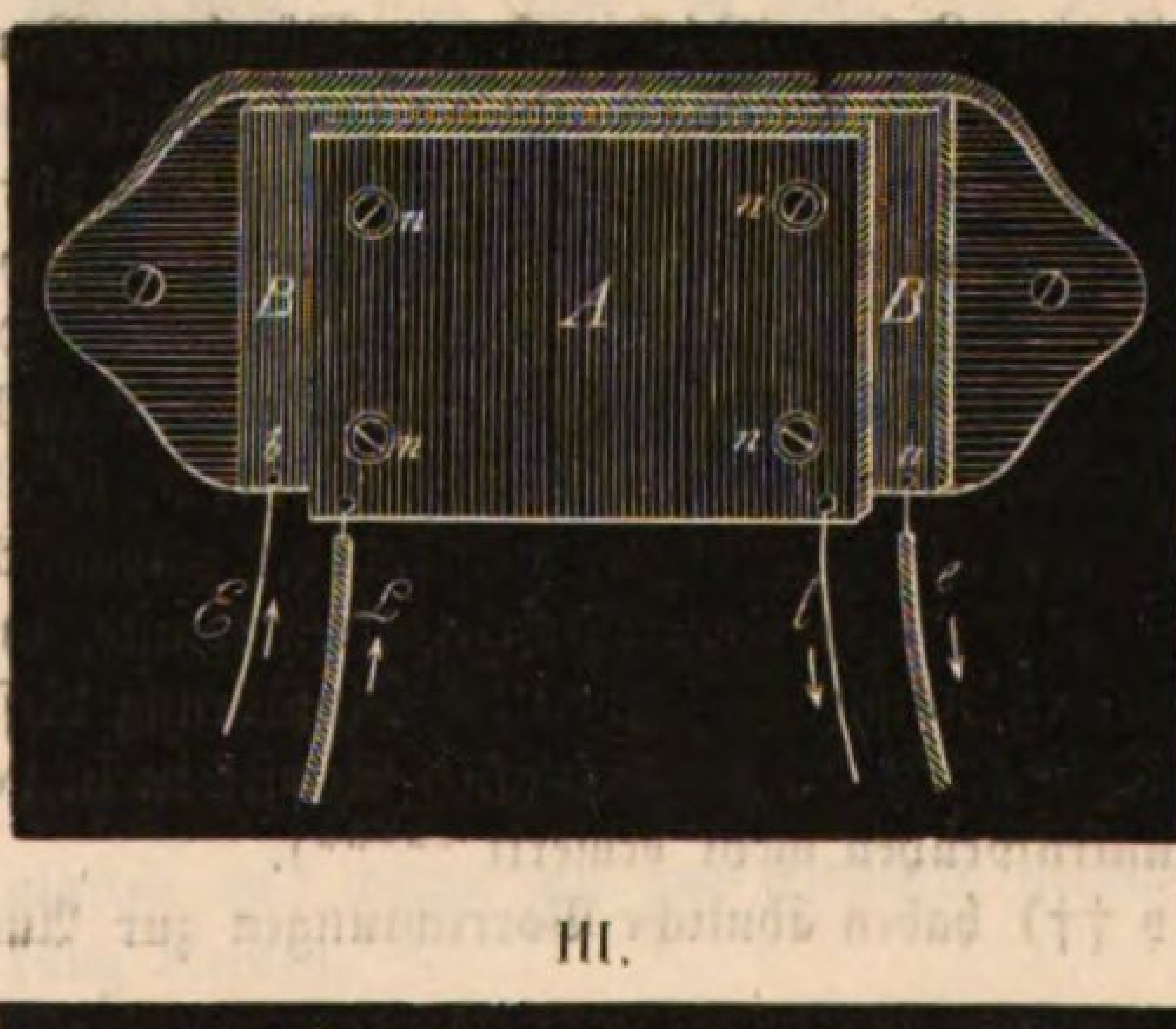
führung gebracht. Am vollendetsten jedoch sind die vom Professor **Meißner** in Braunschweig auf der dortigen Telegraphenlinie ausgeführten Schutzplatten *).

I.

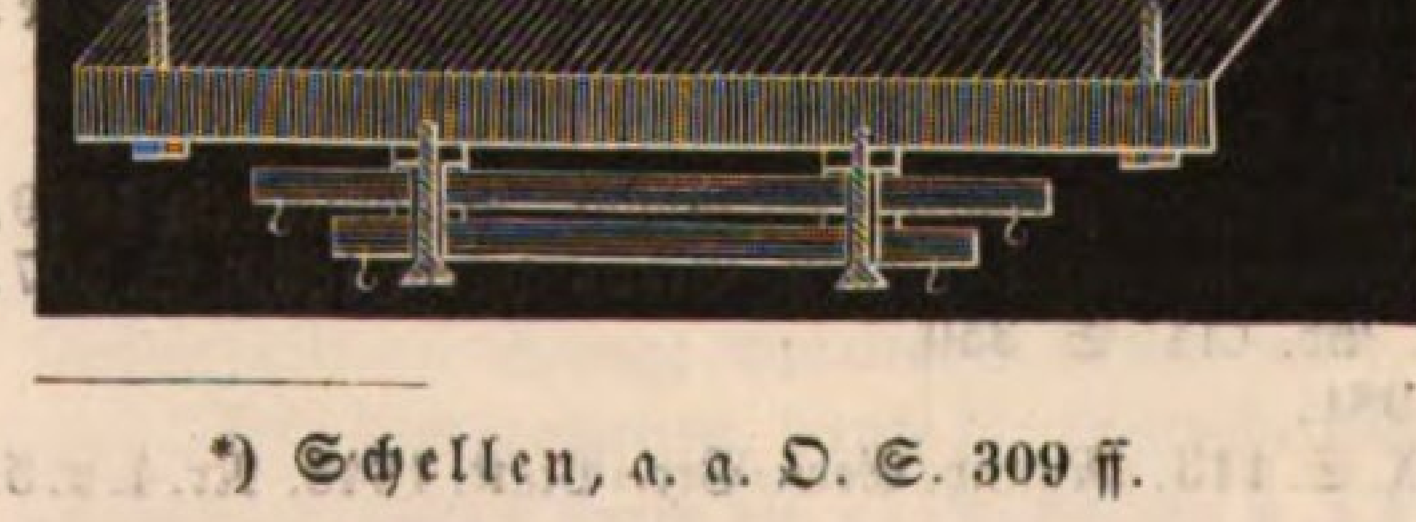


Der Leitungsdraht L Fig. II. wird im Stationsgebäude auf eine 18 Zoll lange, 14 Zoll breite, 2/8 Zoll dicke Kupferplatte A geleitet und festgeschraubt. Von A führt ein isolirter dünner Draht l nach dem Telegraphen, von welchem ein anderer feiner Draht durch die Batterie führt, der bei E an eine zweite Kupferplatte B B geschraubt ist; von dieser endlich geht von der Klemme a aus ein stärkerer Draht e nach der Erde. Beide Platten sind, wie Fig. III. zeigt, zwar auf einander geschraubt, aber so, daß sie nirgendwo in metallischer Verbindung unter einander stehen, was dadurch erreicht wird, daß durch die correspondirenden Röhrchen n aus Elfenbein und zwischen den beiden Platten kleine 1/8 Linie dicke Scheibchen aus Gutta-Percha auf die durchgehenden Röhrchen gestellt sind, welche die Platten A und B beim Anschrauben aus

II.



III.



*) Schellen, a. a. O. S. 309 ff.

einander halten. Das Bret, auf welchem die Platten sich befinden, wird an der Wand befestigt.

Das galvanische Fluidum, durch L von der entfernten Station kommend, gelangt hierbei zunächst auf A, von da durch l zu dem Telegraphen und der Batterie, von da durch E und B und endlich von hier durch e in die Erdplatte und durch die Erde zur anderen Station zurück. Sobald sich aber in dem Leitungsdraht eine gewisse Menge atmosphärischer Elektricität ansammelt, strömt diese ebenfalls zunächst auf die Platte A und wählt durch Ueberspringen auf B den nächsten Weg zur Erde, anstatt den größeren Weg durch die Umwickelungsdrähte der Elektromagnete zu nehmen. Zu noch größerer Sicherheit schaltet man wohl auch zwei solcher Schutzplatten in die Leitung ein.

Man begnügt sich indessen keineswegs damit, die Apparate in den Stationsgebäuden gegen die Wirkung der Luftelektricität zu sichern, sondern man stellt in geeigneten Abständen, besonders in der Nähe der Endpunkte der Leitung, Metallstücke, die durch das Schirmdach oder unter der Höhlung des Porzellantrichters gegen Nässe geschützt sind, einander sehr nahe gegenüber. Das eine dieser Stücke wird mit dem Erdboden, das andere mit dem Drahte leitend verbunden; die atmosphärische Elektricität des Drahtes wird dadurch von dem einen Metallstück auf das andere überspringen und der größte Theil derselben verliert sich auf diese Weise in die Erde, ehe sie die Endpunkte der Leitung erreicht.

Tavernier hat in neuerer Zeit eine Erfindung von ihm unter dem Namen Anti-Jupiter (v. d. griech. ἀντί gegen, wider, trotz und Jupiter, dem römischen Gotte, welchem der Blitz zugeschrieben wurde) bekannt gemacht, welche nichts Anderes als ein riesenmäßiger Blitzableiter ist. Er besteht wesentlich aus drei Stücken: 1) einer hohen Säule, einem Obelisken oder Mastbaum, um den eigentlichen Ableiter zu tragen; 2) einer Krone von vergoldetem Rothkupfer 12 Fuß hoch, welche um einen metallenen Zapfen beweglich ist, und deren Spitzen schaufelförmig gekrümmt sind; 3) 1 bis 2 Ableitern aus Rothkupfer, 1 bis $1^1/_2$ Zoll im Durchmesser haltend. Die Ableiter empfangen die Elektricität, welche die Krone sammelt durch 4 Räder oder Wirbel, welche an den 4 letzten Seitenzacken der Krone angebracht sind. Der Obelisk, welcher den Ableiter trägt, muß in einer Höhe von 50 bis 100 Fuß die höchsten Gebäude des Ortes, welchen er schützen soll, übertragen. Uebrigens ist die Wirkung dieses Anti-Jupiters auf Gegenstände, die sich ihm nahen, nach Tavernier's Aussage viel größer, als die auch des stärksten Blitzstrahles, denn Tavernier erzählt, er habe gesehen, daß ein ungeheurer Elephant, der sich dem Ableiter während eines Gewitters näherte, in Staub verwandelt wurde. Der Anwendung des Anti-Jupiters steht nicht allein die große Kostbarkeit entgegen, sondern es würde derselbe auch in der That mehr Gefahr als Sicherheit bringen.

Großes Aufsehen haben die Blitzableiter von Stroh gemacht, welche La Postolle*) empfohlen, die aber durchaus gar keiner Berücksichtigung werth sind, indem sie nur ein Zeichen von der großen Unwissenheit ihres Erfinders sind, der sich herausnahm alle Physiker meistern zu wollen, während er selbst den größten Unsinn zu Tage förderte.

---

*) Vergl. Art. Hagelableiter.

Der Vollständigkeit wegen erwähnen wir noch, daß Dupuis-Delcourt einen électro-subtracteur erfunden hat. Indessen ist aus der kurzen Beschreibung dieses Apparates die Einrichtung nicht recht deutlich, so daß wir uns mit dieser Notiz begnügen müssen *).

Es ist wünschenswerth, daß die Blitzableiter unter die Aufsicht besonderer Commissionen gestellt werden, weil, wie aus vielen Beispielen hervorgeht, durch einen fehlerhaft angelegten oder vielleicht in Folge eines elektrischen Schlages oder auf andere Art schadhaft gewordenen Blitzableiters oft mehr Schaden als Nutzen gestiftet werden kann. So macht Stricker darauf aufmerksam **), daß die Blitzableiter ihren Zweck nicht mehr erfüllen, wenn die Leitung durch verrostete Stellen unterbrochen ist, indem dann diese Stellen durch den Blitz geschmolzen werden und Platzungen entstehen. Als Beleg führt er einen Blitzschlag an, von welchem die Taubstummenanstalt zu Frankfurt a. M. am 20. Juni 1846 getroffen wurde. Er schlägt als einfaches und gewiß sehr zweckmäßiges Mittel vor, sich der galvanischen Kette zu bedienen, um sich von der vollkommenen Leitung des Blitzableiters zu überzeugen und dies alljährlich im Frühjahr zu wiederholen, um zu erfahren, ob die Leitung durch den Einfluß der Witterung nicht unterbrochen worden sei. Nach Stricker's Mittheilung ist dies Verfahren von Wagner in folgender Weise zur Ausführung gebracht worden: Der Ableiter ging an zwei einander diagonal entgegengesetzten Ecken des Gebäudes in die Erde. Nun wurde die wenig über der Erde befindliche Schraubenverbindung der einzelnen Theile eines der Ableiter gelöst und jedes dieser getrennten Stücke mit einem der Leitungsdrähte eines Volta'schen Elementes verbunden, und zwar der negative Pol mit dem absteigenden, der positive mit dem aufsteigenden Stücke. Von zwei anderen Leitungsdrähten wurde der eine permanent mit einer Spirale von Kupferdraht, welche einen Eisenkern umschließt, verbunden; der andere diente dazu, durch seine Annäherung und Entfernung zu und von der Spirale die Kette zu schließen und zu öffnen. In der Nähe der Spirale befand sich eine aufgehängte Magnetnadel, welche im Augenblicke der Schließung durch den in dem Eisen entwickelten Elektromagnetismus abgelenkt wurde, und im Augenblicke der Oeffnung ihre Stelle wieder einnahm. Ist der galvanische Strom durch eine schlecht leitende, d. h. rostige Stelle unterbrochen, so findet natürlich keine Ablenkung der Nadel statt.

Gehen mehr als zwei Ableitungen zur Erde, so muß man sie alle bis auf eine in ihrer Verbindung lösen und den Versuch der Reihe nach mit der einen Ableitung und jeder der anderen anstellen.

Wir wenden uns nun zu einer ferneren bei einem Gewitter auftretenden Erscheinung, nämlich zu dem Donner oder Donnerschlage, worunter man dasjenige Getöse versteht, welches den Blitz begleitet oder ihm nachfolgt.

Wenn man sich in der Nähe eines Gegenstandes befindet, in welchen der Blitz einschlägt, so hört man in dem Augenblicke, in welchem der Blitz herabfährt, den Donner als einen heftigen Knall. Je weiter man sich aber von dem Orte befindet, über dem sich das Gewitter entladet, desto mehr Zeit vergeht zwischen dem

*) Compt. rend. T. XXII. p. 1057. Quesn. rev. sc. T. XXVI. p. 256.

**) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 554. Dingler's polytech. Journ. Bd. CIII. S. 265.

Erscheinen des Blitzes und dem Wahrnehmbarwerden des Donners, welcher dann auch nicht wie ein Knall, sondern als ein längere Zeit anhaltendes Rollen gehört wird.

Der Grund hiervon ist derselbe, wie der zu der bekannten Erfahrung, daß man in der Nähe beim Losschießen eines Gewehres Feuererscheinung und Knall zugleich wahrnimmt, während man aus der Ferne erst die Feuererscheinung und nur erst nach einigen Zeitmomenten den Knall bemerkt; nämlich der Umstand, daß sich der Schall langsamer durch die Luft fortpflanzt, als das Licht. Daher pflegt man auch die Entfernung eines Gewitters von dem Orte, an welchem man sich befindet, nach der Zeit zu berechnen, welche zwischen einem Blitze und dem zu ihm gehörigen Donner vergeht. Der Schall nämlich durchläuft bei trockner, nicht bewegter Luft, bei 0° C. und bei mittlerem Barometerstande in jeder Secunde 1058,22 preuß. Fuß, und für je 1° C. über Null ist 2,007 Fuß mehr zu rechnen; nehmen wir, da es hier nicht auf große Genauigkeit ankommt, 1000 Fuß an, so kann man bei der für irdische Entfernungen unmeßbaren großen Geschwindigkeit des Lichtes aus der Anzahl von Secunden (oder da der Puls nicht viel über 60 Schläge in der Minute thut, aus der Anzahl der Pulsschläge), welche zwischen Blitz und Donner vergehen, bestimmen, wie viel 1000 Fuß das Gewitter noch von dem Aufenthaltsorte des Beobachters entfernt sei. Auf 12 Secunden würde ungefähr eine halbe Meile kommen.

Auch bei dem Ueberspringen eines kleinen elektrischen Funkens aus Elektrisirmaschinen bemerken wir ein Geräusch, welches sich in Bezug auf seine Stärke zum Donner verhält, wie der elektrische Funke bei den Elektrisirmaschinen zum Blitze. Im Allgemeinen scheint also die Ursache des Schalles beim Blitze dieselbe zu sein, wie die des Geräusches beim elektrischen Funken. Die Luft nämlich wird durch denselben schnell mit Gewalt getrennt oder erschüttert.

Schwieriger ist die Erklärung der Beobachtung, daß der Donner auf so verschiedenartige Weise gehört wird.

Wie schon gesagt, hören Personen in der Nähe eines Ortes, wo der Blitz einschlägt, einen kurzen heftigen Knall, etwas ferner stehende Beobachter vernehmen gewöhnlich ein prasselndes Geräusch. Hiervon unterscheidet sich sehr das Rollen des Donners, welches oft mehrere Secunden dauert, ohne an Stärke zu verlieren. Es beginnt gewöhnlich schwach und nimmt nach und nach größere Stärke an, wird dann schwächer und ist mit heftigeren Schlägen untermengt.

Man erklärte früher *) die Erscheinung als ein Echo, theils von Gegenständen auf der Erde, theils, da man dieses Rollen auch auf dem Meere wahrnimmt, von den Wolken. Für diese Erklärungsart spricht, daß in gebirgigen Gegenden der Donner weit furchtbarer zu dröhnen pflegt, als in Ebenen, daß aber auch die Wolken den Schall reflectiren können, dafür spricht die Beobachtung, welche die Mitglieder der Pariser Akademie gemacht haben, als sie Versuche über die Geschwindigkeit des Schalles anstellten **). Wenn sich nämlich zwischen beiden Stationen Wolken befanden, so wurden die Schüsse mit einem Rollen wie von Donner gehört, welches nicht bemerkt wurde, wenn der Himmel heiter war.

---

*) Bergmann, Phys. Beschr. der Erdk. Bd. II. S. 73. §. 129.
**) Ann. de Chim. T. XX. p. 210.

Helvig *) will bemerkt haben, daß die Zickzackform des Blitzes auf den Donner von Einfluß sei, indem nämlich jedes Abspringen des Blitzes von seiner geradlinigen Bahn einen Schlag zur Folge haben soll. Jeder dieser Schläge trifft dann zu verschiedenen Zeiten das Ohr. Auch das Prasseln des Donners beim Einschlagen des Blitzes läßt sich aus dem Abspringen des Blitzes, wenn er auf seiner Bahn schlechte Leiter trifft, erklären, so daß jede Platzung des Blitzes mit einem neuen Schlage verbunden ist. Menschen, die sich in größerer Nähe bei dem Orte, an welchem der Blitz einschlägt, befinden, hören alsdann wegen der Schnelligkeit, mit welcher die Platzungen hinter einander erfolgen, die in großer Nähe fast eben so schnell auf einander folgenden Schläge als in einen heftigen Schlag vereinigt.

Brandes **) meint, das Rollen komme von den zugleich aufwärts oder seitwärts in die Wolken fahrenden Blitzen her, während der in die Erde einschlagende Blitz mit einem kurzen Knalle oder knitternden Laute verbunden sei. Läge nun der Ort jeder Explosion bei einem herabfahrenden Blitze dem Orte des Beobachters näher, so gelangte der durch die erste Explosion bewirkte Schall, welcher langsamer als der erregte Blitz fortgeht, gleichzeitig (oder doch fast gleichzeitig) mit dem durch die letzte Explosion bewirkten Schalle in das Ohr. Dieser sei daher kurz und ohne einen Nachhall. Wenn dagegen der Blitz zwischen Wolken aufwärts oder seitwärts geht, so gelangen die in größerer Entfernung entstehenden Donner später in unser Ohr, und ein Blitz, dessen ganze Wirkung vielleicht nur eine Secunde dauert, aber sich vielleicht in einer Strecke von 6000 Fuß in gerader Linie bewegt, müßte einen 7 Secunden dauernden Schall geben. Umgekehrt könnte man aus der Dauer des Donners auf die Längsausdehnung des Blitzes schließen.

Um den Wechsel der Stärke, das secundenlange Pausiren, und das darauf sehr heftig erfolgende neue Beginnen des Donners zu erklären, macht Kämtz ***) noch auf einen besonderen Umstand aufmerksam. Wenn nämlich die Luft durch den Schall in eine wellenförmige Bewegung versetzt wird, so dauert diese Wellenbewegung noch einige Zeit fort, nachdem die sie hervorbringende Ursache verschwunden ist. Kämtz sagt: Ein jeder Punkt, welchen der Blitz auf seinem Wege trifft, wird Mittelpunkt eines Wellensystems, wir wollen indessen der Einfachheit wegen annehmen, solche Punkte seien nur die Ecken des Zickzacks, an denen der Schall erzeugt werde. Der Donner kommt zuerst von dem zunächst liegenden Punkte des Blitzes ins Ohr; dauert die wellenförmige Bewegung noch fort, so kommen die Wellen von einem zweiten Punkte an; treffen ähnliche Theile beider Wellen zusammen, so wird der Schall bedeutend verstärkt: ist dies nicht der Fall, so kann der Donner an Stärke abnehmen, ja wohl einen Moment pausiren und dann mit neuer Heftigkeit anfangen, wenn die Wellen von einem oder mehreren Schallsystemen ankommen, bei denen ähnliche Theile der Wellen zusammenfallen (siehe Interferenz der Schallwellen). Kämtz glaubt, daß viele beim Donner vorkommende Umstände sich nur in dieser Art erklären lassen dürften. Wenn man z. B. blos von der ungleichen Entfernung der schallenden Punkte ausginge, so müßte der Donner mit der größten Stärke anfangen, da wir ihn zuerst von

*) Gilb. Ann. Bd. LI. S. 139.
**) Beiträge zur Witterungskunde. S. 351.
***) Meteorologie. Bd. II. S. 435.

dem zunächst liegenden Punkte hören und dieser Schall also wegen geringerer Entfernung am stärksten ist, oder es müßte wegen gegenseitiger Verstärkung der Donner schwach anfangen, dann allmälig an Stärke gewinnen, und nach Erlangung seiner größten Stärke wieder abnehmen. Das eigentliche Rollen wird nur unter günstigen Umständen stattfinden. Aus der Lehre von der Interferenz der Schallwellen läßt sich auch der Umstand erklären, daß bei etwas entfernten Gewittern das Rollen des Donners weit auffallender ist als bei denjenigen, welche in der Nähe des Beobachters einschlagen, indem in jenem Falle die von den Endpunkten des Blitzes ausgehenden Schallwellen unter einem kleineren Winkel das Ohr des Beobachters treffen und deshalb für Interferenzerscheinungen geeigneter sind.

Jeder wahre Blitz, von dem das sogenannte Wetterleuchten zu unterscheiden ist, wird auch von einem Donner begleitet; aber zuweilen sind die Gewitter vom Beobachter so entfernt und die sie begleitenden Donnerschläge so schwach, daß sie derselbe, obschon er den Blitz sieht, nicht wahrnimmt. Dies tritt im Allgemeinen schon bei einer Entfernung von 3 Meilen ein. Daß man also von einem unter dem Horizonte befindlichen Gewitter nur die Blitze und zwar nur reflectirte Blitze sehen, aber keinen Donner hören wird, ergiebt sich hieraus von selbst.

Dennoch fehlt es nicht an Nachrichten von angeblich wahren Blitzen ohne Donner. So wird von einem zweifachen Blitze ohne darauf erfolgten Donner berichtet, durch welchen am 13. August 1785 Frankfurt a. M. an zwei verschiedenen Orten angezündet wurde *). De Luc **) theilt eine ähnliche Beobachtung seines Bruders mit. Die auffallende Erscheinung ist lange bezweifelt worden ***); doch Arago ****) giebt sie als häufig an auf den Antillen, zu Rio Janeiro und Patna in Ostindien. Reichenbach erwähnt der Blitze ohne Donner *****), die unmittelbar über ihm sichtbar waren und das ganze Thal, in welchem er sich befand, erleuchteten. In diesem Falle sah er nur die durch den Blitz veranlaßte Erleuchtung durch tiefe zerstreute Haufwolken hindurch; in einem anderen (Ende Juni 1837) aber sah er klar in den Zickzack des wirklichen Blitzes hinein. Ayrer in Harburg †) beobachtete dergleichen Zickzack-Blitze in einer einzelnen hellen, hoch aufgethürmten Haufwolke, desgleichen Bravais ††) zu Lyon in der Nacht vom 24. auf den 25. Juni 1844, wobei sogar an drei Stellen der Blitz einschlug. W. Haidinger †††) giebt Nachricht von zahlreichen Blitzen ohne Donner am 22. Juni 1845 zu Wien. Auch Dove ††††) theilt mit, daß er einen Blitz in zerrissenen grauen Wolken auf blauem Himmelsgrunde in seinem Zenith gesehen habe, ohne einen Donner zu hören.

Die Erklärung dieser nun wohl feststehenden Thatsache ist noch nicht gelungen.

---

*) Geschichte der außerordentlichen Naturbegebenheit 2c. Von J. G. S. Frankfurt 1785.

**) Journ. de Physique. 1791. p. 262.

***) Kastner's Archiv für Naturk. 1831. Bd. XXII. S. 378.

****) Annuaire du bureau des longitudes pour l'an 1838.

*****) Baumgartner's Zeitschrift für Physik. Bd. X. S. 74. Poggend. Ann. Bd. XLIII. S. 531.

†) Poggend. Ann. Bd. XLVIII. S. 375.

††) Compt. rend. 1844. T. XIX. p. 240.

†††) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 529.

††††) Meteorolog. Untersuch. S. 66.

In manchen Fällen, vielleicht in dem von De Luc's Bruder, mögen es keine wahren Blitze gewesen sein, sondern nur elektrische Ausströmungen nach Art von Feuerpinseln; in anderen unterliegt die wahre Natur der Blitze jedoch keinem Zweifel, und da war die elektrische Entladung wahrscheinlich in einer sehr bedeutenden, ungewöhnlichen Höhe über der Erde, so daß wegen der dort vorhandenen geringen Dichtigkeit der Luft der Knall des Donners an sich nicht stark sein konnte und bei der bedeutenden Entfernung daher auch nicht zum Ohre des Beobachters gelangen mochte.

Die elektrischen Erscheinungen, welche bei den Gewittern gewöhnlich so großartig sich zeigen, sind Veranlassung gewesen, die Ursache der Gewitterbildung in der Luftelektricität zu suchen *). Wir müssen zwar an dieser Stelle auf den Art. Luftelektricität verweisen, können indessen nicht umhin, hier hervorzuheben, daß bei näherer Untersuchung sich das Verhältniß gerade umgekehrt herausgestellt hat, daß nämlich die Elektricität nicht die Ursache, sondern eine Folge der Gewitterbildung ist. Es nimmt nämlich die Luftelektricität schnell zu, wenn sich eine Trübung, die den Himmel längere Zeit bedeckte, rasch verliert, und noch mehr, wenn die Trübung oder Bewölkung sehr rasch eintritt. Gewitter sind daher nichts weiter als schnell entstandene und daher in hohem Grade elektrische Wolken.

Diese Ansicht über das Verhältniß zwischen der Luftelektricität und dem Gewitter hat besonders Geltung erhalten durch Schübler **), Kämtz ***) und Dove ****). Indessen sagte bereits Trechsler *****), es sei ihm am wahrscheinlichsten, die Gewitterwolke sei ein Laboratorium zur Bildung der Elektricität und nicht ein Magazin zur Aufbewahrung bereits gebildeter.

Wo die Bedingungen eines raschen Hervortretens von Niederschlägen in der Atmosphäre gegeben sind, da werden sich Gewitter bilden. Dove †) findet diese Bedingungen in denjenigen Winden, welche die größten Temperaturdifferenzen zeigen. Am geeignetsten sind S., SW. und N., NO., deren Vermischen am leichtesten geschieht, wenn der kältere Wind den wärmeren verdrängt. So entstehen die meisten Gewitter in unseren Gegenden, indem der Wind sich von S. schnell durch W. nach N. dreht, es sind Erscheinungen der Westseite. Das Barometer steigt während des Gewitters rasch, und die Temperatur erniedrigt sich nach demselben bedeutend, indem der kältere nördliche Wind unten einfällt und diesem im Allgemeinen ein höherer Barometerstand entspricht. Also ist ein Gewitter, dessen Zug wir meilenweit verfolgen, nicht eine fortschreitende Wolke, sondern ein fortschreitender Wind, der seinen Weg am Himmel (durch Verdichtung des atmosphärischen Wasserdampfes) dunkel abzeichnet, und mithin ist die Geschwindigkeit eines Gewitters auch nur die des Windes, welcher die elektrischen Niederschläge veranlaßt.

Der Zug der Gewitterwolken, in Europa vorherrschend von SW. nach NO., im östlichen Nord-Amerika von W. nach O. ††), würde hierin seine Erklärung finden.

---

*) Meteorolog. Untersuch. S. 225.

**) Meteorologie. S. 150.

***) Meteorologie. Bd. II. S. 468.

****) Poggend. Ann. Bd. XIII. S. 419. Dove, meteorol. Untersuch. S. 224 ff.

*****) Gilb. Ann. Bd. LXIV. S. 234.

†) Poggend. a. a. O. S. 423. Dove, meteorol. Untersuchungen. S. 64.

††) Mitchell in Silliman's Am. Journ. Bd. XIX. S. 254.

Die dem Gewitter vorangehende Windstille, die drückende Luft vor demselben, entsteht durch das Aufstauen der südlichen und nördlichen Winde an einander.

Seltner als diese Gewitter der Westseite sind bei uns die der Ostseite, d. h. die Gewitter der Winddrehung von O. durch SO. nach S. Es kann nämlich ein plötzlicher Niederschlag durch den oben eintretenden Südwind nur dann erzeugt werden, wenn die Intensität dieses Windes besonders groß ist, so daß hierdurch eine Vermischung mit der unteren kälteren Luft des nördlichen Windes möglichst rasch bewirkt wird. Das Barometer fällt bei solchen Gewittern, während die Temperatur sich erhöht.

Erfolgt die Drehung des Windes, sowohl auf der West-, wie auf der Ostseite nicht stetig, sondern stoßweise, so kann durch jeden Stoß ein neues Gewitter veranlaßt werden, woraus es sich erklärt, daß in solchem Falle das folgende Gewitter bei der Westseite aus einem mehr nördlichen und bei der Ostseite aus einem mehr südlichen Striche kommt.

Aus diesem Einflusse der einander bekämpfenden Winde auf die Gewitterbildung ergiebt sich endlich auch, warum vor und nach dem Gewitter die Winde gewöhnlich um einen Quadranten verschieden sind. Es sei nur noch hervorgehoben, daß nicht das Gewitter den Wind umwirft, sondern daß ein Gewitter entsteht, wenn sich der Wind dreht und eine mehr oder weniger rasche Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes veranlaßt.

Daß die Gewitter der Ostseite höher ziehen als die der Westseite, ist ebenfalls eine nothwendige Folge ihrer Bildung.

Eine andere Art der Gewitter sind die der Windstillen. Sie entstehen durch einen lebhaft aufsteigenden warmen Luftstrom an den Gebirgen oder in den Ebenen der gemäßigten Zone, wenn im Sommer kein Grund zu einer vorherrschenden Luftströmung vorhanden ist. Für diese Entstehungsweise sprechen am auffallendsten die Gewitter in der Pinie über der Feuersäule beim Ausbruche eines Vulkans *), eben so die Gebirgsgewitter, z. B. über den Seen in Oberitalien, wo die einschließenden Gebirgswände ein seitliches Abfließen der stark erhitzten, aufsteigenden Luft verhindern. Sie bilden sich gegen Mittag, entladen sich am Nachmittag und lösen sich am Abend wieder auf. Diese Gewitter sind durchaus local und wiederholen sich bei windstillem Wetter oft mehrere Tage hinter einander. Die täglichen Gewitter in der Zone der Windstillen gehören hierher, eben so die der tropischen Regenzeiten.

Jetzt können wir auch die Richtigkeit der Bauernregel einsehen, nämlich daß die Gewitter ein Ende haben, wenn sich das Wetter abkühlt, daß sie aber zurückkehren, wenn dies nicht der Fall ist. Im ersten Falle war das Gewitter durch Winddrehung veranlaßt, im letzteren war es ein Gewitter der Windstille.

Oft hört man, daß ein von ferne kommendes, scheinbar schweres Gewitter sich glücklicherweise an einer gewissen Stelle getheilt habe, und daß jeder Theil in abweichender Richtung fortgezogen sei. Man schreibt diese Theilung gewöhnlich einer sogenannten Wetterscheide zu. Gewiß ist es aber nicht selten der Fall, daß das ferne Gewitter nicht ein einziges ist, sondern aus getrennten, nur ziemlich nahe neben einander fortziehenden besteht. In einem solchen Falle beruht die scheinbare

*) Dove, meteorol. Untersuch. S. 65.

Theilung auf einer optischen Täuschung. In der Ferne erscheinen die getrennten Gewitter vereint, eben so wie die Bäume einer langen Allee, rücken die Gewitter näher, so erscheint der sie trennende Raum unter einem größeren Winkel und jedes Gewitter wird als ein für sich bestehendes erkannt *).

Nach Dove ist die Gesammtheit der die Gewitter begleitenden Erscheinungen nichts Anderes als ein einfacher Ausdruck des Drehungsgesetzes. Wir verweisen deshalb auf den Art. Wind und außerdem auf die Art. Hagel und Regen, in denen sich noch mancher die Gewitter überhaupt betreffender Aufschluß findet.

H. E.

Giftmehl, s. Arsenik.

Gips, s. Berg Bd. I. S. 785 und Calcium S. 922.

Glanz. Um von der Entstehung des Glanzes eine deutliche Vorstellung zu geben, erscheint es nothwendig, einige allgemeine das Licht betreffende Verhältnisse vorauszuschicken.

Wenn das Licht von einem Körper reflectirt wird, so macht es einen Unterschied, ob derselbe eine vollständig glatte oder rauhe Oberfläche hat. Denken wir uns eine kleine kreisrunde Stelle eines Körpers mit ebener, glatter Oberfläche, so wird das in Gestalt eines Strahlenkegels von einem leuchtenden Punkte auffallende Licht so zurückgeworfen, daß alle Theile oder alle Strahlen dieses Kegels zu einander dieselbe Lage behalten. Ein von diesen zurückgeworfenen Strahlen getroffenes Auge wird mithin eine Erscheinung haben, als ob der leuchtende Punkt eben so weit hinter der reflectirenden Fläche liege, als der wirklich leuchtende vor derselben. Von der reflectirenden Fläche selbst, wenn dieselbe genau alle auffallenden Strahlen in der bezeichneten Weise reflectirt hätte, würde das Auge keine Wahrnehmung haben. Diese nach dem katoptrischen Grundgesetze (vergl. Artikel Licht) erfolgende Reflexion ist die sogenannte regelmäßige oder spiegelnde.

Denken wir uns hingegen die Stelle des Körpers, welche von dem Strahlenkegel getroffen wird, vollständig uneben und rauh, so werden die reflectirten Strahlen in allen möglichen Richtungen zurückgehen, jeder Punkt der Fläche wird sich so verhalten, als ob von ihm selbst das Licht ausginge und ein von den zurückgeworfenen Strahlen getroffenes Auge würde von der reflectirenden Fläche einen solchen Eindruck empfangen, daß es diese selbst als etwas Sichtbares auffassen müßte. Das in diesem Falle reflectirte Licht bezeichnet man als zerstreutes oder unregelmäßig reflectirtes.

Da niemals eine Fläche so frei von Unebenheiten ist, daß nur eine vollständige spiegelnde Reflexion statt hätte, im Gegentheil immer ein Theil des reflectirten Lichtes zerstreut wird; so wird auch der vollkommenste Spiegel sich immer noch als einen sichtbaren Gegenstand wahrnehmbar machen.

Fällt das Licht zerstreut von einem Körper zurück, so zeigt er sich nicht nur in seiner Gestalt, sondern auch gewöhnlich in einer eigenthümlichen Farbe. Hierbei ist besonders zu beachten, daß zwar ein vollkommen undurchsichtiger Körper nur von seiner Oberfläche Licht reflectiren kann, die meisten Körper jedoch, eben weil sie nicht vollkommen undurchsichtig sind, auch noch von den nächsten Schichten

*) Vergl. Henrici in Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 522.

unter der Oberfläche Licht reflectiren. In dem letzten Falle ist ein Theil des auffallenden Lichtes absorbirt, d. h. von dem Körper aufgenommen, so daß die Summe des reflectirten Lichtes nicht mehr der des einfallenden gleich ist. Von diesen absorbirten Lichtstrahlen wird die Farbe des Körpers bedingt, indem diese nur aus den reflectirten Strahlen *) resultiren kann.

Gelangen nun von der Oberfläche und von der nächsten Schicht unter derselben reflectirte Lichtstrahlen in das Auge, so wirken diese auf dasselbe aus verschiedenen Entfernungen, und indem das Auge sich dem durch die durchsichtige Schicht gesehenen Körper anpaßt, kann das von der Oberfläche zurückspiegelnde Licht nicht deutlich gesehen werden. Das Bewußtsein dieser undeutlich wahrgenommenen Spiegelung erzeugt die Vorstellung des Glanzes.

Ein glänzender Körper muß also, damit er möglichst viel Licht regelmäßig reflectirt neben dem aus dem Inneren wieder heraustretenden, an seiner Oberfläche möglichst polirt sein. Außerdem kommt es aber noch auf das dem Körper eigenthümliche Reflexionsvermögen an, und da dies sich um so größer stellt, je verschiedener die Brechungscoefficienten der an einander grenzenden Mittel sind; so erklärt sich daraus, wie bei gleicher Politur doch verschiedene Körper Glanz von verschiedener Intensität entwickeln können. Liegt das Brechungsverhältniß zwischen 1,3 und 2,0, so zeigen z. B. Mineralien Glasglanz, zwischen 2,0 und 2,6 Diamantglanz und zwischen 2,6 und 5,0 Metallglanz.

Oersted **) ist der Ansicht, daß der Glanz nur davon abhänge, daß die regelmäßige Reflexion einen bemerkbareren Eindruck auf unser Auge mache, als die zerstreuende, indem die Veränderungen an der Oberfläche der Körper, welche den Glanz verstärken, die zerstreuende Reflexion schwächen und umgekehrt. Er hat indessen die wahren Verhältnisse übersehen, obgleich ihn die nach dem Poliren auftretenden Farbenänderungen darauf führen konnten, er auch nachweist, daß das bei der regelmäßigen Reflexion ausgesendete Licht an dem Farbeneindrucke, welchen wir von dem Körper empfangen, keinen Theil hat, sondern daß dieser Eindruck nur durch die zerstreuende Reflexion bewirkt wird.

Da die von Oersted aufgestellten Thatsachen für den in Rede stehenden Gegenstand immerhin von Interesse bleiben, so führen wir einige derselben an.

Bei dem Stahle verschwindet die eigenthümliche Farbe beim Poliren in dem Grade, daß man geneigt wird, die Fläche schwarz zu nennen. Eisen in pulverförmigem Zustande, so wie man es durch die Behandlung des Eisenoxydes mit Wasserstoffgas erhält, ist schwarz; wird es aber zusammengepreßt, so erhält es den bekannten Glanz und die Farbe des Eisens. Viele Metalle sind in fein zertheiltem Zustande schwarz oder grau, wie Platin, Silber, Blei, Arsenik, andere farbig, als Gold und Kupfer; aber durch Druck oder eine gewisse Zusammenstellung der Theile erhält jedes derselben seinen bekannten metallischen Glanz und seine Farbe. Rothes Eisenoxyd erhält polirt mit dem Glanze einen stahlgrauen Schein und zeigt um so weniger Röthe, je vollkommener die Politur wird. Zinnober erhält im blanken Zustande eine Farbe, welche sich mehr der des Bleies oder, wenn man

*) Vergl. Art. Farbe. Bd. III. S. 41.
**) Poggend. Ann. Bd. LX. S. 49 — 55.

will, der des Quecksilbers nähert, wiewohl mit weniger lebhaftem Glanze. Indigo erhält durch das Poliren Kupferglanz; Berlinerblau einen eigenen dunkelblauen Glanz.

Das wahre Sachverhältniß hat Dove *) nachgewiesen und zwar, daß unter allen Fällen, wo eine Fläche glänzend erscheint, es immer eine spiegelnde durchsichtige oder durchscheinende Schicht von geringer Mächtigkeit ist, durch welche hindurch man einen anderen Körper betrachtet. „Es ist äußerlich gespiegeltes Licht in Verbindung mit innerlich gespiegeltem oder zerstreutem, aus deren Zusammenwirkung die Vorstellung des Glanzes entsteht."

Den thatsächlichen Nachweis für die Richtigkeit dieser Ansicht erhält man durch das Stereoskop (s. d. Art.). Zeichnet man die Projection z. B. einer abgestumpften Pyramide für das eine Auge mit weißen Linien auf matt schwarzen Grund, für das andere Auge mit schwarzen Linien auf weißen Grund; so erhält man bei stereoskopischer Combination das Relief von grauen Flächen begrenzt, die wie Graphit glänzen. — Zeichnet man die beiden Projectionen der abgestumpften Pyramide mit schwarzen Linien auf weißen Grund, bedeckt man aber die Schnittfläche in der einen mit gesättigtem Blau, in der anderen mit Gelb, so ist es in dem Momente, wenn bei stereoskopischer Combination Grün entsteht, so, als wenn man durch die eine durchsichtig gewordene Farbe die andere hindurchsieht, gleich als ob die Farbe mit einem Firniß bedeckt sei. — Betrachtet man bei stereoskopischer Combination die gelb und blau gemalte Schnittfläche der Pyramide durch ein vor beide Augen gehaltenes violettes Glas, so erscheint sie spiegelnd wie ein polirtes Metall, indem wahrscheinlich das violette Glas bewirkt, daß die beiden zusammentretenden Farben durch das ungleiche Absorptionsvermögen zu gleicher Intensität gebracht werden.

„Der Glanz ist", wie Dove sich sehr bezeichnend ausdrückt, „stets im eigentlichen Sinne ein falscher, ein Beiwerk, welches blenden kann, das aber, wenn wir es beachten, die Sache, auf die es ankommt, scharf ins Auge zu fassen verhindert. Er verschwindet daher, wenn man die Spiegelfläche fortschafft, indem man unter dem Polarisationswinkel durch ein Nicol'sches Prisma (s. Art. Polarisation des Lichtes) auf den Firniß eines Gemäldes sieht." Wir bemerken hierzu, daß man ebenfalls durch Polarisation den starken Glanz der Sonne beseitigen kann.

Die Mineralogen unterscheiden mehrere Arten des Glanzes, wie auch bereits oben angedeutet wurde.

1) Metallglanz, z. B. Eisenkies, Bleiglanz, gediegen Antimon.
2) Diamantglanz, z. B. Diamant, theilweise auch Weiß-Bleierz.
3) Glasglanz, z. B. Bergkrystall, Smaragd, Obsidian.
4) Wachs- und Fettglanz, z. B. Bernstein, Pechstein, Jaspopal.
5) Perlmutterglanz, z. B. Glimmer.
6) Seidenglanz, z. B. Fasergyps.

Einer näheren Erläuterung bedürfen diese Unterschiede nicht, da die Namen selbst bezeichnend genug sind.

Ueber den Glanz selbstleuchtender Körper s. d. Art. Photometrie. H. E.

---

*) Darstellung der Farbenlehre und optische Studien. Berlin 1853. S. 177.

Glas. — Die Erfindung des Glases schreibt man nach der bekannten Erzählung des Plinius gewöhnlich den Phöniziern zu. Phönizische Kaufleute, so erzählt Plinius, landeten an dem sandigen Ufer des Flusses Belus und stellten ihre Kochgeschirre auf Sodastücke, womit ihre Schiffe befrachtet waren. Sie bemerkten nun zu ihrem Staunen, daß die Sodastücke durch die Hitze des Feuers mit dem Sande zu Glas zusammenflossen. Indessen gebricht es dieser Erzählung an aller inneren Wahrscheinlichkeit, und da nach alten historischen Nachrichten in ägyptischen Bauwerken Gefäße von Glas gefunden wurden, welche einer viel früheren Zeit angehören, als der, in welcher die Kunst Glas zu machen sich in Phönizien verbreitete, so ist die Erfindung des Glases gewiß viel älter, als man nach Plinius annehmen kann. Plinius und Strabo geben mit Bestimmtheit Nachrichten von Glashütten in Sidon und Alexandrien, wo man es verstand, das Glas zu schneiden, zu schleifen, zu färben und zu vergolden. Zu Plinius Zeiten verpflanzte sich die Glasbereitung schon nach Gallien und Spanien. Indeß gehörte im Alterthume das Glas zu den kostbaren Seltenheiten *), war ein Gegenstand des Luxus und vom gewöhnlichen Gebrauch gänzlich ausgeschlossen. Erst nachdem im 16. Jahrhundert die Fabrikation nach dem Abendlande, insbesondere nach Venedig verpflanzt worden war, wo die noch bestehenden Hütten auf der Insel Murano lange Zeit die einzigen waren, fand es einen ausgedehnteren und allgemeineren Gebrauch; die Fabrikation verbreitete sich langsam in Böhmen, dessen Hütten in der Neuzeit die größte Berühmtheit haben, dann nach Frankreich, nach England, wo 1557 zu London, und Schweden, wo 1641 die erste Hütte errichtet wurde. — In der älteren technischen Literatur finden sich bereits Werke über Glasfabrikation, unter denen die Schrift des Priesters Antonio Neri aus Florenz: *de arte vitraria* (aus dem Anfange des 17. Jahrhunderts), die *ars vitraria* von Kunkel 1679 und die von dem Engländer Christoph Merret 1681 die bekanntesten sind. Doch giebt keine dieser Schriften theoretische Aufschlüsse über die Natur des Glases; der neueren Chemie blieb es vorbehalten, hierüber Licht zu verbreiten, wozu die Untersuchungen von Berzelius über die Kieselerde gewiß das Meiste beigetragen haben.

Das Glas ist eine Verbindung von Kieselerde (auch Borsäure) mit verschiedenen Basen — als Kali, Natron, Magnesia, Kalk, Bleioxyd, Zinnoxyd, Eisen- und Manganoxydul, Thonerde, Eisen- und Manganoxyd — welche durch Zusammenschmelzen der betreffenden Körper in hoher Temperatur erzeugt wird. Sie bildet erkaltet eine farblose oder gefärbte durchsichtige Masse von großer Härte, welche den zersetzenden Einflüssen von Luft, Wasser und selbst stärkeren chemischen Reagentien bis zu einem gewissen Grade widersteht. Ungeachtet seiner Sprödigkeit und Zerbrechlichkeit ist es vermöge jener Eigenschaften nicht nur für das gewöhnliche Leben, sondern auch für die gesammten Naturwissenschaften von der höchsten Bedeutung. Die genannte Verbindung, das Glas muß als ein Salz der Kieselsäure angesehen werden, dessen Zusammensetzung sich meist durch Formeln ausdrücken läßt, das sich aber von den ähnlichen natür-

---

*) Farbige Gläser als Nachahmung der Edelsteine (*gemmae vitreae*) erwähnen Plinius, Trebellius Pollio und Tertullian, zu des letzteren Zeiten sie mit den ächten Perlen gleichen Werth hatten. Kaiser Hadrian empfing mehrere farbige Glaskelche von ägyptischen Priestern zum Geschenk.

lichen Verbindungen durch den amorphen Zustand wesentlich unterscheidet *). Es ist stets wenigstens ein Doppelsalz. Die einfachen kieselsauren Salze werden von Wasser, Säuren ꝛc. mehr oder weniger leicht zersetzt und sind daher zu dem Gebrauch, für welchen das Glas bestimmt ist, gänzlich untauglich; diese Nachtheile werden aber durch Vereinigung einfacher Silikate fast vollkommen beseitigt, so daß man dadurch Producte von hinreichender Beständigkeit und amorpher Beschaffenheit erlangt, die bei den erreichbaren Hitzegraden vollkommen schmelzbar sind. Da die Basis auf die Natur des Salzes bedeutenden Einfluß ausübt, so werden die Eigenschaften jeden Glases immer von den Eigenschaften der vorwaltenden Basis bedingt sein. Wie die Erfahrung lehrt, machen die Alkalien, vorzugsweise Natron, welches außerdem eine deutlich blaugrünliche Färbung erzeugt, das Glas leichtflüssig. Kalk giebt dem Glase größere Härte und Strengflüssigkeit und mehr Glanz, als die Alkalien. Thonerde erhöht die Schwerflüssigkeit noch mehr als Kalk, wenn ihre Menge einen bestimmten Antheil überschreitet und befördert das Bestreben des Glases, bei dem Erkalten krystallinische Structur anzunehmen. Dagegen giebt Bleioxyd sehr leichtflüssige Gläser von großer Weichheit, hohem Glanz, gänzlicher Farblosigkeit und starkem Lichtbrechungsvermögen. Die Oxyde von Eisen und Mangan geben zwar sämmtlich leichtflüssige Gläser, doch färben Eisenoxydul und Manganoxyd sehr stark, jenes laubgrün, dieses amethystroth, und nur Eisenoxyd und Manganoxydul erzeugen farblose Gläser, wenigstens bewirkt eine solche Quantität Eisenoxyd, welche als Oxydul eine deutlich grüne Färbung verursacht, einen kaum bemerkbaren gelblichen Ton. Da es sehr schwierig ist, eisenfreie Materialien zu erlangen, so ist es nach dem Angeführten möglich, das Eisen für die Gläser, welche nicht geradezu farblos sein müssen, unschädlich zu machen; durch Zusatz einer angemessenen Menge Braunstein (Mangansuperoxyd MnO_2) zum Glasflusse, wird das Eisen in Oxyd verwandelt, während Mangan in Oxydul übergeht.

Die Oxyde der übrigen schweren Metalle ertheilen fast alle den Gläsern so starke Färbungen, daß sie nur zur Erzeugung bunter Gläser angewendet werden können.

Die Gläser vom höchsten Glanz und Lichtbrechungsvermögen sind also im Allgemeinen die weichsten und besitzen zugleich das höchste spec. Gew. (2,8 — 3,6), weil sie, wenigstens die farblosen, Basen von hohem Aequivalent enthalten (Bleioxyd und Baryt). Die härteren Gläser dagegen enthalten Basen, welche weniger Glanz hervorbringen, die Brechungsfähigkeit vermindern und ein niedrigeres Aequivalent besitzen, daher das spec. Gewicht der daraus geschmolzenen Gläser 2,6 nicht übersteigt.

Sieht man von den eigentlich farbigen Gläsern ab, so sind die in der Glasbereitung angewendeten Basen nur Kali, Natron, Kalk und Bleioxyd, indem Magnesia, Thonerde, Eisen- und Manganoxydul und Oxyd meist nur als zufällige Beimengungen und Verunreinigungen durch unreine Ingredienzien und aus den Wänden der Glasöfen dem Glase zugeführt werden. Die Bestimmung eines

*) Leydolt nimmt (Compt. rend. T. XXXIV. p. 565, auch Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVI. S. 242) jedoch an, daß das Glas aus krystallinischen in eine amorphe Masse eingeschlossenen Körpern bestehe, welche durch Einwirkung von wasserhaltigen Flußsäuredämpfen bloßgelegt werden sollen. Aehnliches will ders. Verf. an ganz durchsichtigen natürlichen Krystallen beobachtet haben.

Glases wird nun entscheiden, welche von diesen Basen und in welcher Menge und Reinheit man dieselben anwenden muß.

Die Mischung der Ingredienzien, aus denen das Glas geschmolzen wird, der Glassatz — ist für eine bestimmte Glassorte nur im Allgemeinen nach einem bestimmten Mengenverhältniß zusammengesetzt, das auf keine stöchiometrische Berechnung, sondern auf reine Empirie gegründet ist; die Recepte für dieselbe Glassorte weichen daher vielfach von einander ab, ohne daß die erzeugten Producte große Verschiedenheit in den Eigenschaften zeigen. Diese Abweichungen der empirischen Vorschriften von einander liegen jedoch innerhalb bestimmter Grenzen, welche nicht überschritten werden können, ohne die Qualität des Glases wesentlich zu verändern. Sie haben auch nichts Widersprechendes, sondern lassen sich aus der Natur der Kieselerde, der kieselsauren Salze und gewisser Verbindungen der Alkalien, welche in der Technik des Glases Anwendung finden und flüchtig sind, (die kohlensauren- und Chloralkalien) hinreichend erklären.

Zum Glassatz nimmt man die erforderlichen Substanzen, wenigstens die Basen, gewöhnlich nicht im freien Zustande, sondern in Form von Salzen, namentlich als kohlensaure und bei den Alkalien auch als Chloralkalien, welche von der Kieselsäure zersetzt werden. Die Chloralkalien lassen sich indeß nur in Verbindung mit anderen Salzen verwenden, weil die Kieselsäure sie allein nicht zersetzt; noch weniger eignen sich wegen ihrer Schwerzersetzbarkeit durch Kieselerde die schwefelsauren Salze, sie können daher nur beschränkte Anwendung finden. Der Kalk kann ohne Weiteres im natürlichen Zustande als Marmor, Kalkstein etc., und ohne daß man ihn zu pulvern nöthig hat, angewendet werden. Für farblose Gläser muß er nur möglichst frei von Eisen sein. Da der Kalk, wie schon erwähnt, die Schwerflüssigkeit bedeutend erhöht, so muß mit seinem Zusatze vorsichtig verfahren werden; gewöhnlich rechnet man $^1/_5$ auf das Gewicht des Sandes. Von den Verbindungen des Bleis wird fast nur die Mennige benutzt, welche, ehe sie sich mit Kieselerde verbindet, zu Bleioxyd reducirt wird, also Sauerstoff entwickelt und durch diesen zugleich entfärbend wirkt (auf Eisengehalt). Die Kieselerde wird nur als Sand, selten als Quarz oder Feuerstein zum Glassatz verwendet. Für farblose Gläser wird derselbe durch Schlämmen, oder für die reinsten Gläser, durch Behandlung mit Salzsäure, von Thon und Eisen, womit er stets verunreinigt ist, befreit.

Viele natürliche Mineralien oder mineralische Massen enthalten schon die Bestandtheile des Glases oder wenigstens in ähnlichem Verhältniß; sie können daher zur Glasfabrikation dienen nach Umständen mit oder ohne Zusatz. Dahin gehören der Basalt, Klingstein, überhaupt feldspathhaltige Gesteine, Laven, Lehm, Mergel etc. Im Allgemeinen steht aber ihr meist hoher Eisengehalt einer allgemeineren Anwendung entgegen. Auch Schlacken verarbeitet man zu Glas.

Als Entfärbungsmittel dient außer Mennige und Braunstein auch die arsenige Säure, welche dabei zu metallischem Arsenik, das sich verflüchtigt, reducirt wird, und Salpeter.

Die Ingredienzien des Glases werden nirgends für sich verschmolzen, sondern immer mit Zusatz von ungefähr $^1/_3$ fertigem Glas; man verwendet hierzu die Abfälle von der Glasbereitung, die „Glasbrocken“, und die sonst eingesammelten Glasüberreste; es ist aber wichtig, für eine Glassorte nur Brocken derselben Qualität anzuwenden.

Das Schmelzen der Glasmasse erfolgt in besonders hierzu construirten Oefen, den Glasöfen. Die Temperatur, welche diese auszuhalten haben, steigt bis auf circa 9000° C., fällt aber in regelmäßig wiederkehrenden Perioden auf 5000° C. Einem solchen Hitzegrade widersteht unter den Baumaterialien fast nur der feuerfeste Thon; die meisten Materialien würden nicht nur zusammenschmelzen, sondern auch durch das periodische Fallen und Steigen der Temperatur abwechselnd eine Ausdehnung und Zusammenziehung erleiden, welche der Festigkeit des Ofens bald Gefahr bringen muß. Es wird daher beinahe ausschließlich nur der Thon zur Herstellung solcher Oefen angewendet. Der frische Thon wird zu diesem Zwecke mit ungefähr $^1/_3$ gebranntem und gemahlenem Thone derselben Art vermischt, wodurch das Schwinden desselben im Feuer verhindert und ihm, da er so ein lockeres Gefüge erhält, das Vermögen gegeben wird, der Ausdehnung und Zusammenziehung leichter nachzugeben. Die Dauer eines solchen Ofens (die Campagne), in dem ohne Unterbrechung, so lange er aushält, geschmolzen wird, ist nach der Qualität des Thones, der Art der Gläser und, was damit zusammenhängt, nach der Temperatur, die er aushalten muß, verschieden; wo man gute Thone hat und nur Bleigläser verschmilzt, hält er wohl 4 — 5 Jahre aus (wie in England), oft aber auch nur 18 Monate, wenn man schwerflüssige Gläser producirt. Die Herstellung eines Ofens erfordert einige Monate, da er an der Luft erst austrocknen und dann nur langsam angefeuert werden muß. Die Oefen sind stets stehende Flammöfen, in denen also der Schmelzraum nicht neben den Feuerungen, sondern oberhalb derselben liegt. Sie sind länglich rund oder viereckig und von Oben überwölbt. Durch die Mitte der Sohle geht der Länge nach ein ziemlich breiter Canal, dessen beide Enden an der schmalen Seite des Ofens die Feuerung bilden. Die zu beiden Seiten des Canals liegenden schmalen Streifen, welche von der Ofensohle übrig bleiben, die Bänke oder das Gesäß dienen zur Aufstellung der Schmelzgefäße, 6, 8 bis 10 an der Zahl. Die an der Längsseite des Ofens hinter jedem Schmelzgefäß in der Höhe des oberen Randes der letzteren befindlichen Oeffnungen sind zum Eintragen des Satzes, zum Herausnehmen und Bearbeiten des Glases bestimmt. Die Schmelzgefäße, die Hafen (runde oder ovale Tiegel) oder Wannen (viereckige Gefäße) sind von der Masse des Ofens und haben 24 — 60 Zoll Höhe. Sie werden erst, nachdem sie in einem seitlichen Ofen, dem Temperofen langsam auf Rothglühhitze gebracht worden sind, durch besondere Oeffnungen, die Hafenthore, welche nach dem Gebrauch zugemauert werden, in den Glasofen eingefahren.

Ohne nun hier auf die technischen Operationen des Schmelzens, Blasens ꝛc. weiter einzugehen, muß noch einiger Umstände gedacht werden, welche auf die Darstellung des Glases und seiner Verarbeitung den größten Einfluß haben. Bei der höchsten Temperatur, welche in den Glasöfen hervorgebracht werden kann, ist das Glas dünnflüssig; dieser Zustand macht es möglich, daß sich die Unreinigkeiten und das, was nicht in die Verbindung eingeht, abscheiden*), daß also Gasblasen**)

*) Die ausgeschiedene Masse, welche in der Technik „Glasgalle" heißt, enthält vorzugsweise schwefelsaure Salze und Chloralkalien.

**) Durch Zersetzung der kohlensauren Salze entsteht eine anfangs lebhafte Gasentwickelung von Kohlensäure, welche, weil sie eine Bewegung der Masse veranlaßt, zur gleichmäßigen Mischung der entstandenen ungleichartigen Verbindungen sehr förderlich ist.

und leichtere Theile an die Oberfläche steigen, die schwereren aber sich zu Boden senken können. In solchem Zustande läßt sich ferner das Glas gießen. Bei lebhafter Rothglühhitze bildet es eine zähflüssige dicke Masse, die einen hohen Grad von Dehnbarkeit besitzt und sich in die feinsten Fäden ausziehen, zu den dünnsten Blättern auftreiben läßt, die in der Kälte geschmeidig und biegsam sind wie ein Haar oder wie Papier. Im Zustande der Zähflüssigkeit lassen sich Stücke Glas vollkommen zu einem einzigen vereinigen.

Ein sehr wichtiger Umstand ist das Kühlen des Glases. Bei rascher Abkühlung einer Glasmasse werden die Oberflächen sofort erstarren; sie verlieren, in den starren Zustand übergegangen, ihre Biegsamkeit und Nachgiebigkeit; während die inneren Theile noch im Begriffe sind sich zusammen zu ziehen, sind die äußeren nicht mehr im Stande, der Contraction zu folgen; es müssen daher die kleinsten Theilchen nach dem Erkalten in einer gezwungenen Lage, in einer gewissen Spannung der äußeren Schichten gegen die inneren verharren, dadurch aber wird das Gleichgewicht der Anziehung der einzelnen Theilchen zu einander in dem Grade gestört, daß durch den geringsten Anstoß der gegenseitige Zusammenhang aufgehoben werden kann. Je rascher die Abkühlung erfolgt, und je größer die Masse des Glases ist, desto größer ist die Spannung und demnach auch die Sprödigkeit. Es findet sich dies an den sogenannten Glasthränen, in kaltem Wasser abgekühlten Glastropfen, und an den Bologneser Flaschen — dickwandige und rasch abgekühlte Glaskolben — deutlich ausgeprägt; erstere zerfallen durch das Abbrechen der Spitze in Pulver, letztere zerspringen mit Knall durch die geringste Reibung oder durch das Ritzen eines scharfen Sandkorns oder Feuersteinsplitters. Dieselbe Eigenschaft würden alle Glasgeräthschaften besitzen, wollte man sie an der Luft erkalten lassen. Um diesem Uebelstande zu begegnen, werden alle fertigen Glaswaaren in einen Ofen eingesetzt, welcher so weit erhitzt ist, daß das Glas nicht erweicht oder seine Form verliert, und man läßt nun den fest verschlossenen Ofen bis zur gewöhnlichen Temperatur erkalten. Die Gefäße verlieren auf diese Weise ihre Sprödigkeit zwar nicht ganz, werden aber zum gewöhnlichen Gebrauch tauglich. Der Proceß des Kühlens hat indeß seine Grenze; verlangsamt man nämlich den Uebergang aus dem weichen Zustande in den starren zu sehr, so erhalten die einzelnen Theilchen der Masse Zeit sich zu krystallinischen Gebilden zu gruppiren und das Glas nimmt dann den Zustand an, welchen man sehr passend „Entglasung" genannt hat; es verliert seine Durchsichtigkeit und die spiegelnde Oberfläche erhält ein kleinfaseriges Gefüge, wird strengflüssiger, unempfindlicher gegen Temperaturwechsel und verliert viel von seiner Sprödigkeit. Bei der Bearbeitung beim Blasen wird das Glas bisweilen in diesen Zustand versetzt, wenn es zu oft im Feuer erweicht wird. Nicht selten bilden sich auch mitten in einer größeren Glasmasse, die langsam erkaltet, undurchsichtige Krystalle, welche sich von der umgebenden durchsichtigen Grundmasse trennen lassen. Das Reaumur'sche Porzellan ist ein Product, das durch Entglasung erzeugt wird *).

---

*) Es wurde von Reaumur 1727 erfunden. Er setzte Glasgefäße in einen Tiegel ein, füllte die leeren Räume in und außerhalb der Gefäße mit einem Gemenge von gebranntem Gips und feinem Sande und stellte das Ganze mit einem Brande in einen Fayenceofen. Nach dem Erkalten zeigte es die oben angeführten Eigenschaften. Dasselbe hat übrigens fast gar keinen Eingang gefunden.

Es dürfte bei der Fabrikation im Großen trotz der sorgfältigsten Beobachtung aller Umstände und Bedingungen fast unmöglich sein, ein ganz fehlerfreies Glas herzustellen. Das Product zeigt immer mehr oder weniger Mängel, die theils in der Farbe, theils in dem Mangel an Gleichförmigkeit der Masse liegen. Sehr häufig vorkommende Fehler der letzteren Art sind z. B. ungeschmolzene Sandkörnchen, welche in dem Glase einen weißen Kern oder Salztheilchen, welche Flocken bilden, oder auch kleine Bläschen. In den meisten Fällen sind diese und andere Fehler, welche mit gewöhnlichen Mitteln häufig nicht einmal wahrnehmbar sind, gleichgültig; für gewisse Zwecke ist jedoch ein ganz fehlerfreies Glas erforderlich, insbesondere wenn es zu optischen Zwecken bestimmt ist. Während die obengenannten Mängel ohne große Schwierigkeiten vermieden werden können, sind andere, die sogenannten Wellen, Schlieren oder Streifen selbst beim Arbeiten im Kleinen nur sehr schwer zu beseitigen. Diese beruhen darauf, daß sich Schichten von ungleicher Dichte gebildet haben, in Folge dessen das Glas eine verschiedene Brechbarkeit erhält, so daß die Bilder von Gegenständen, welche durch solches Glas hindurch gesehen werden, verzerrt und verworren erscheinen. Die bleihaltigen Glassätze sind nun vor allen anderen geneigt, solche Producte zu liefern, weil sie das Bestreben haben, im Beginn der Schmelzung Gläser von verschiedener chemischer Zusammensetzung und Dichte zu bilden, welche sich häufig sehr schwer mischen lassen und um so mehr in ihrer Lage verharren, als an dem Boden der Schmelzgefäße, wohin sich die dichteren Theile begeben, die Temperatur gegen $1/4$ niedriger ist, als im oberen Theile. Es fehlen mithin die Strömungen, welche die verschiedenen Schichten mit einander mengen.

Man unterscheidet die verschiedenen Glassorten gewöhnlich nach der technischen Bestimmung der daraus gefertigten Waaren. Da diese Bestimmung auf bestimmten Eigenschaften beruht, welche wieder von der chemischen Zusammensetzung abhängen, so findet im Allgemeinen ein Zusammenhang zwischen der chemischen Beschaffenheit und der praktischen Unterscheidung der einzelnen Sorten statt. Diese lassen sich in die zwei Hauptgruppen trennen, in bleifreie und in bleihaltige Gläser.

I. Bleifreie Gläser. Dahin gehören: das Hohlglas, Fensterglas und Spiegelglas. Unter Hohlglas begreift man alle Glassorten, welche zu Gefäßen und Hausgeräthen verarbeitet werden. Es gehören dahin: 1) das gemeine Flaschenglas, 2) das halbweiße Glas (Arzneiflaschen ꝛc.), 3) das weiße Hohlglas und 4) das böhmische Schleifglas. Die letzten drei Sorten, wovon das böhmische Schleifglas eisenfrei ist, bestehen wesentlich aus Kieselerde, Kalk und Alkali. Bei dem böhmischen Schleifglas ist das Alkali Kali, bei den anderen kann es Natron oder Natron und Kali sein. Das Flaschenglas enthält oft ziemlich viel Thonerde. Das Fensterglas und das Spiegelglas haben ähnliche chemische Zusammensetzung mit dem feineren Hohlglas und unterscheiden sich von einander nur durch die Qualität.

II. Bleihaltige Gläser sind das Krystallglas, das Flintglas oder optische Glas, Straß und Email *). Die ersteren drei sind durchsichtige farblose Gläser mit einem nach der angegebenen Ordnung wachsenden Bleigehalt. Das Krystallglas dient wie das böhmische Schleifglas zu den sogenannten Schleif-

*) Siehe Bd. II. S. 853.

waaren, das Flintglas zu den optischen Gläsern, der Straß zu den künstlichen Edelsteinen (s. d. Art. Edelstein).

Diese Eintheilung ist keine allgemein gültige. In Gegenden, wo Steinkohlen zur Feuerung dienen, wird von dem Hohlglase nur das gewöhnliche Flaschenglas dargestellt, während die gewöhnlichen Glasgeräthe aus Bleiglas gemacht werden.

Hieran schließen wir noch einige besondere Bemerkungen über das Flintglas und Crownglas, welche mit einander combinirt die sogenannten achromatischen Gläser geben. Letzteres, das bleifreie Glas, steht in seiner Zusammensetzung dem böhmischen Glase sehr nahe, ist also kieselsaures Kali-Kalkglas, das wie das Flintglas zu optischen Zwecken aus den reinsten Materialien dargestellt werden muß. Das Flintglas ist zweifach kieselsaures Bleioxyd-Kali; das von Guinand entspricht nach den Analysen von Faraday und Dumas fast genau der Formel $= 2\ (2\,KO,\ 3\,SiO_3) + 3\ (2\,PbO,\ 3\,SiO_3)$, welche 44,2 Proc. SiO_3, 43,5 PbO und 12,3 KO erfordert. Die Darstellung dieses Glases ist mit allen den Schwierigkeiten, welche die bleihaltigen Gläser überhaupt darbieten, in erhöhtem Grade verbunden, da mit dem Zunehmen des Bleigehaltes, welcher allerdings das Lichtbrechungsvermögen vermehrt, sich auch die schon früher angedeuteten Uebelstände steigern. Faraday stellte über die Natur und die Fehler dieses Glases im Auftrage der Society of arts in London umfassende Versuche an, die aber zu keinem praktischen Resultate führten; er brachte eine Composition aus 1 Aequivalent Borsäure, 1 Aequiv. Kieselsäure und 3 Aequiv. Bleioxyd in Vorschlag, welche in einem Platintiegel geschmolzen werden soll. Lange vor Faraday's Versuchen hatte schon Fraunhofer in der optischen Anstalt zu Benedictbeuren bei München ausgezeichnete Gläser geliefert (z. B. den berühmten Refractor der Sternwarte zu Dorpat mit einem Objectiv von 14″ Durchmesser); sein Verfahren blieb aber unbekannt und ging nach seinem Tode an v. Utzschneider über. Fraunhofer's Schüler, Guinand der Vater, welcher zu Choisy-le-Roi bei Paris eine Werkstätte gründete, zeichnete sich durch seine vortrefflichen Gläser aus, die indeß nicht immer ganz frei von Blasen waren. In der genannten Werkstätte brachte er zuerst seine wichtige Verbesserung an, die Einführung eines Rührers von Hafenmasse, welche auf das Glas ohne färbenden Einfluß ist und ein fortgesetztes Umrühren gestattet. Die genannte Fabrik ging von Guinand's Sohn an Bontemps über, von dem bereits 1828 streifenfreie Linsen von 132 — 152‴ Durchmesser geliefert wurden, später aber noch viel größere, die ganz fehlerfrei waren. Sein Verfahren ist durch Vermittelung der Pariser Akademie bekannt geworden *), und besteht wesentlich in der zweckmäßigen Verwendung des Guinand'schen Rührers, so wie in dem Glassatze. Der letztere besteht aus 200 Pfund Sand, 200 Pfd. Mennige und 60 Pfd. geglühter Soda; oder 43,5 Th. Sand, 43,5 Bleioxyd, 10 kohlens. Kali und 3 salpeters. Kali; für Crownglas 60 Th. Kieselerde, 25 kohlens. Natron von 90 Proc., 25 kohlensaurer Kalk, 1 Arsenik. Guinand's Sohn **) gelang es eben so, große von Blasen und Streifen freie Gläser darzustellen. — Männer, deren Verdienste um

*) Dingler's polytechn. Journ. Bd. LXXIX. S. 44 und Bd. XCVII. S. 358.
**) Dingler's polytechn. Journ. Bd. LXXX. S. 35.

die Flintglasbereitung noch erwähnt zu werden verdienen, sind **Körner**, **Steinheil** und **Döbereiner**.

Von welcher Beschaffenheit das Glas auch sein mag, immer wird es für Wasser und namentlich für concentrirte heiße Säuren und ätzende Alkalien nicht völlig unangreifbar sein, sondern davon mehr oder weniger zersetzt werden. Die Feuchtigkeit der Luft veranlaßt durch die Länge der Zeit bei manchem Glase schon eine Zersetzung und macht es **blind**, indem sich Kieselsäure als ein feines Häutchen, oft mit regenbogenfarbigem Schimmer, ausscheidet.

Die **gefärbten Gläser** werden durch Zusatz gewisser färbender Metalloxyde erzeugt, welche dieselben sind, wie für die künstlichen Edelsteine; für blutrothe also: Kupferoxydul; für carminroth: Goldpurpur oder Goldchlorid; violettroth: Braunstein, Manganoxyd; himmelblau: Kupferoxyd; dunkelblau: Kobaltoxydul; grün: Eisenoxyd oder Chromoxyd; gelb: Spießglanzglas, Eisenoxyd; gelb, mit grünlichem Schimmer: Uranoxyd; schwarz: durch Zusatz gleicher Theile Braunstein, Kupferoxyd und Kobaltoxydul. Das **Aventuringlas**, ein bräunliches Glas, worin kleine Flittern eingemengt sind, die ihm einen eigenthümlichen Schimmer ertheilen, enthält nach Wöhler*) feine Oktaedersegmente von Kupfer. — Das **Steinglas** und **Milchglas** sind eine durch Zusatz von gebrannten Knochen und Zinnoxyd durchscheinend gemachte Glasmasse.

Um auf Glas zu malen, wird ein leichtflüssiges Glas mit färbenden Metalloxyden zusammengerieben, und dieses Gemenge dann, nach Anfeuchtung mit Lavendelöl, mit Hülfe eines Pinsels auf das Glas aufgetragen. Das Einbrennen geschieht in einem Muffelofen.

Bei der Vergoldung des Glases bereitet man sich zunächst das Metall in fein zertheilter Form, indem man Gold aus seiner Lösung in Königswasser durch Oxalsäure fällt. Nachdem das Goldpulver ausgewaschen, getrocknet und mit etwas gebranntem Borax gemengt ist, wird das mit Terpentin- oder Lavendelöl befeuchtete Gemenge auf das Glas aufgetragen, und hierauf das Glas in einem Muffelofen erhitzt, bis der Borax verglast ist. Durch nachheriges Poliren wird der Vergoldung Glanz verliehen. Beim Versilbern wendet man in sonst gleicher Weise Silberpulver an, das aus einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd durch ein Kupferblech gefällt worden. Und auf dieselbe Weise kann man durch Auftragen von Platinschwamm Glasgegenstände platiniren, was auch dadurch geschehen kann, daß man dieselben mit einem längere Zeit gekochten Gemenge von Alkohol und Platinchlorid überzieht und erhitzt.

Ueber das **Glasätzen** mittelst Fluorwasserstoffsäure vergleiche den Artikel **Fluor**.

Das Zerschneiden von Glasröhren geschieht mittelst einer dreikantigen Feile, indem man quer über die Röhre einen etwas tiefen Strich feilt. Den letzteren kehrt man nach außen und drückt in dessen Nähe mit beiden Händen die Röhre stark auswärts. Wenn man von Glasgeräthschaften (Kolben, Retorten) ein Stück absprengen will, so wird die Trennungsstelle mit einem glühenden Eisen berührt und dann befeuchtet. Hierauf führt man längs des Sprunges die glühende Spitze einer Sprengkohle fort. Die letztere bereitet man aus gepulverter Holzkohle, der man etwas Benzoetinctur und Tragantschleim zusetzt und daraus runde Stücke von

*) Poggend. Ann. Bd. LVIII. S. 286.

der Größe eines Federkiels formt. Oder man wendet statt der Sprengkohle Stäbchen von Lindenholz an, die man mit einer Lösung von salpetersaurem Bleioxyd tränkt und trocknet. Das Durchbohren des Glases geschieht mittelst dreieckiger Stahlspitzen, nachdem die Bohrstelle mit einer Auflösung von Kampher in Terpentinöl befeuchtet worden ist. **H. Rt.**

Glaubersalz, s. Natrium.

Glaukometer, s. Aräometer.

Gleicher, s. Aequator.

Gleichgewicht, s. Mechanik.

Gletscher nennt man jene Eismassen, die von der unteren Grenze des ewigen Schnees in den Gebirgsthälern der gemäßigten und kalten Zone, mitunter bis zu einer beträchtlichen Tiefe, sich herab erstrecken. Die mächtigsten findet man in den Polargegenden *). So werden die Thäler, welche sich von den Gebirgen Grönlands an die Küsten der Baffinsbay hinziehen, von Gletschern erfüllt, deren verticaler vorderer Absturz nach Roß eine Höhe von nahe an 1000 Fuß erreichen soll. Der größte Gletscher auf Spitzbergen ist 10 Meilen lang und 373 M. breit, die anderen sind meist viel kürzer **). Der verticale Absturz der Gletscher gegen das Meer hin erscheint 100 bis 360 Fuß hoch, während das Eis der Gletscher, welche über die Küste hinaus vordringen, auf dem Wasser liegt. Daß ein Theil der Eisberge in den Polarmeeren aus solchen Gletschermassen hervorgeht, ist im Art. Eis besonders hervorgehoben. Das Innere Islands ist ebenfalls mit Gletschern reichlich erfüllt, und auch Norwegen ***) hat Gletscher, die im 67. Breitengrade von Sulitelma bis an die Küsten herabgehen. J. Roß traf im südlichen Polarmeere, etwa im 78. Breitengrade auf eine 150 Fuß hohe vertical abgebrochene Eiswand, deren Gletschermasse von einer hohen Gebirgskette sich ins Meer herabzog. Diese Eiswand wurde auf 300 Seemeilen weit verfolgt, ohne daß eine Unterbrechung sich darbot. Die Gletscher der gemäßigten Zonen erstrecken sich nur an wenigen Punkten (Südspitze von Amerika) bis an die Küste herab. Ueberhaupt erscheinen sie in der nördlichen Halbkugel der Erde, außerhalb der Polarzone, nur (unter besonderen localen Verhältnissen) im höheren Gebirgslande. Unter den Gletschern der gemäßigten Zone sind die in den Alpen (vorzugsweise in den Querthälern derselben) zu Tage tretenden von besonderem Interesse. Ihre Anzahl ist sehr groß ****). Nur wenige dieser Gletscher haben eine Länge von weniger als einer Stunde, viele dagegen sind 6 und 7 Stunden lang und $^1/_2$ bis 1 Stunde breit bei einer Dicke von 100 bis 600 Fuß. Kleine Gletscher kommen auch in den Pyrenäen vor *****).

---

*) Scoresby, account of the arctic regions. 1820; excursion upon the island of Jan Mayen, Edinb. ph. J. 1827. Voyage en Islande et au Grönland de la Recherche.

**) Latta, on the glaciers of Spitzbergen, Edinb. n. ph. J. 1827; Martins, les glaciers du Spitzberg. Bibl. univ. 1840.

***) L. v. Buch, Reise nach Norwegen. 1810; über die Grenzen des ewigen Schnees im Norden. Gilb. Ann. 1812. Naumann, Leonh. Taschenb. 1823. Wahlenberg, Höhe und Temperatur der lappl. Alpen. 1812.

****) Ebel, Anleitung die Schweiz zu bereisen. 1809. Gruner, die Eisgebirge des Schweizerlandes. 1760. De Saussure, voyages dans les alpes. Spitaler, Ersteigung des Großvenediger. 1843. Walcher, von den Eisbergen in Tyrol. 1773.

*****) Ramond, obs. de l. Pyrenées. 1789.

Das Eis der Gletscher entsteht nun aus dem Schnee der Hochgebirge durch wechselndes Aufthauen und Gefrieren desselben. Die hohen Gebirge erheben sich bekanntlich bis in die Regionen, wo die Temperatur unter 0° steht. Alle atmosphärischen Niederschläge, welche auf die niedrigen Gegenden als Regen herabfallen, müssen sich daher auf den Bergen in einer unter den Eispunkt herabgekommenen Temperatur als Schnee ablagern. Hohe Berge sind deshalb mit ewigem, d. h. niemals thauendem Schnee bedeckt; nur diejenigen Felsspitzen (Nadeln und Hörner), welche fast senkrechte Abhänge bilden, lassen den Schnee nicht an ihrer Oberfläche haften, und ragen daher als dunkle Spitzen über die umgebenden Schneemassen empor. Da diese Schneemassen auf den Gebirgen sich fortwährend vermehren, so müssen sie sich endlich so sehr anhäufen, daß sie durch ihr eigenes Gewicht, durch Winde und Lawinen über die Abhänge der Berge herabgedrängt werden und in die Zwischenthäler zwischen den einzelnen Bergen herabsinken. In den niedrigeren Gebirgsgegenden angelangt werden diese Schneemassen, die sich im Winter durch unmittelbares Herabfallen des Schnees aus der Atmosphäre noch vermehren, in der wärmeren Jahreszeit zum Theil geschmolzen, aber ihre Größe hindert eine völlige Verwandlung derselben in Wasser. Das an der Oberfläche während des Tages gebildete Schmelzwasser dringt nun zwischen die einzelnen Schneekrystalle ein und verbindet sich beim nachmaligen Froste (in der nächstfolgenden Nacht) mit den Schneeflocken, wodurch diese in Körner von durchsichtigem Eise verwandelt werden. Wegen der vielen Luftblasen aber, welche das Schmelzwasser mit sich führt, kann die ganze Oberfläche nicht sogleich zu einer compacten Eismasse werden. Durch erneuerte Einwirkung der Sonne schmelzen die kleineren Eiskörner wieder und vergrößern durch nachheriges Gefrieren die größeren, indem sich ihr Schmelzwasser mit den letzteren verbindet. Durch Wiederholung dieses Processes bilden sich immer größere Eiskörner, die allmälig mit ihren Unregelmäßigkeiten in einander greifen und so eine mehr oder weniger zusammenhängende Eismasse bilden, die durch neu in die Zwischenräume eindringendes und hier gefrierendes Schmelzwasser immer compacter und in ihrer Beschaffenheit dem gewöhnlichen Eise ähnlicher wird. Die Meinung von einer wesentlichen Verschiedenheit des Gletscher- und Wassereises, wie sich letzteres im Winter auf Flüssen und Seen bildet, ist von A. und H. Schlaginweit *) als irrig zurückgewiesen worden. Je höher man nun steigt, desto kleiner erscheinen die Eiskörner, aus denen das Gletschereis sich bildet, so daß sie in einer Höhe von 8000 Fuß etwa die Größe von Erbsen zeigen. Hier bildet die Oberfläche des Gletschers nicht mehr eine compacte, sondern eine lockere Masse, die man Firn nennt; dieselbe wird immer kleiner und geht in den höchsten Regionen allmälig in Schnee über. Diese Firnmasse, welche beim Herabsenken sich in Gletschereis verwandelt, entsteht auf die angezeigte Weise aus dem Schnee, und Kämtz **) hatte im Jahre 1843 Gelegenheit, die Bildung derselben deutlich zu verfolgen. Die Oberfläche der Gletscher ist meist rauh und holprig, gewöhnlich etwas gewölbt, so daß sie nach den Seiten gegen die einschließenden Thalwände hin abschüssig erscheinen, was wohl offenbar von einem Abschmelzen herrührt, das nach der Lage des Thales und der

---

*) Physikalische Eigenschaften des Eises. Leipzig 1850.

**) Meteorologische Vorlesungen.

Steilheit seiner Wände verschieden sein wird. Hugi *) nennt die Grenzlinie, über welcher der auf den Gletscher herabfallende atmosphärische Schnee das Jahr hindurch nicht mehr abschmilzt, oder die Schneelinie auf dem Gletscher Firnlinie.

Nach Beobachtungen von Agassiz **) besitzt das Gletschereis eine besondere Schichtung, von deren Dasein sich auch P. Merian ***) überzeugt hat. In der Firnregion, am Lauteraarfirn z. B., ist die Eismasse in horizontal liegende Schichten abgetheilt, die wahrscheinlich aus den Schneeablagerungen der einzelnen Winter entstehen, und deren Absonderungen durch den Staub und Sand, welche zur Sommerzeit von den entblößten Felswänden durch die Winde hergeweht werden, bezeichnet sind. Jede Schicht deutet folglich einen Jahrgang an. Schon Hottinger und nach ihm Saussure ****) und Andere haben auf diese Schichtung des Firns aufmerksam gemacht. So wie der Firn thalabwärts in die eigentliche Gletscherregion gelangt, biegen sich die anfänglichen horizontalen Schichten, indem sie sich von beiden Rändern gegen die Mitte einsenken. Das Ausgehende auf dem Gletscher bildet dann einen Bogen, dessen Convexität thalabwärts gerichtet ist. Nebst dieser Schichtenabtheilung wird das poröse Gletschereis durchzogen von blauen Bändern dichteren Eises, die nach P. Merian *****) entstanden sind durch das Gefrieren des das Gletschereis tränkenden Wassers, während der kalten Jahreszeit, so weit die Winterkälte in das Innere der Gletscher- oder Firnmasse einzudringen vermag. Es hat nämlich dieses Eis eine ganz übereinstimmende Beschaffenheit mit demjenigen, welches sich in künstlich gemachten und mit Wasser angefüllten Vertiefungen im Winter auf dem Gletscher bildet. Die blauen Bänder existiren schon in der Firnregion. Sie laufen, wenigstens auf dem eigentlichen Gletscher, im Allgemeinen parallel mit der Schichtung, stehen daher senkrecht, oder fallen steil ein, wo die Schichten eine entsprechende Stellung haben. Der Parallelismus ist jedoch nicht immer vollständig, sie laufen den Schichtungsabsonderungen zuweilen unter spitzen Winkeln zu †).

Gletscher, die auf einem gleichförmigen Grunde aufliegen, bilden eine gewöhnlich flache ununterbrochene Masse. Fällt dagegen der Grund steil ab, oder bietet er sonst große Unebenheiten dar, so zeigt die Eismasse verticale Spalten, die meist in die Quere verlaufen. Die Breite dieser Spalten, die sich oft unter heftigem Krachen oder Knallen bilden, ist sehr verschieden; bald beträgt sie nur wenige Linien, häufig aber auch einen bis mehrere Fuß. Ihre Tiefe ist ebenfalls sehr ungleich, kann aber bis auf den Grund des Gletschers hinabgehen. Aus den Spalten bläst nicht selten ein kalter heftiger Wind, der feine Eistheilchen mit sich führt, und so mitunter den Anblick eines Schneegestöbers hervorbringt. Man nennt diese Erscheinung das Gletschergebläse.

Das an der Oberfläche sich bildende Schmelzwasser dringt in die Spalten,

---

*) Alpenreise. S. 332.

**) Jahrb. von Leonhard und Bronn. 1843. S. 84 u. 86.

***) Poggend. Ann. Bd. LX. S. 439.

****) Voyag. §§. 514 u. 2015.

*****) Poggend. Ann. Bd. LX. S. 441.

†) Vergl. auch Forbes, Edinb. new. phil. Journ. Jan. 1842; — Bibl. univ. de Genève. T. XLII. p. 352.

Vertiefungen und Höhlen der Gletscher, in denen sich das Wasser allmälig anhäuft. Die einzelnen kleinen Bäche, welche dieses Wasser führen, streben nach den tiefsten Stellen des Gletschers, kommen daher endlich an diesen zusammen, und ergießen sich gemeinschaftlich als ein kleiner Fluß. Ueber diesem hat sich im Gletscher gewöhnlich ein Eisgewölbe gebildet, oft von beträchtlicher Tiefe und Höhe, welches seine Form und Größe indeß mit dem Abnehmen und Zunehmen der Stärke des Gletscherbaches ändert. Die Gletscherbäche strömen am schwächsten im Winter, am stärksten dagegen im Frühling und Sommer, wovon natürlich die größere Wärme die Ursache ist. Uebrigens ist nicht zu übersehen, daß zu diesen Bächen auch Quellen ihren Beitrag liefern können.

Zuverlässige Beobachtungen haben dargethan, daß die Gletschermasse sich langsam ihrem tiefsten oder vorderen Rand zu bewegt. Da nun hier das Eis durch Schmelzen sich vermindert *), so kann der Gletscher, wie man zu sagen pflegt, wachsen oder (scheinbar) zurückgehen, je nachdem das Vorschreiten (thalabwärts) das Abschmelzen oder dieses jenes übertrifft. Ein ähnlicher Wechsel findet auch bezüglich der Breite und Höhe statt. So kann nun auch ein Gletscher mehrere Jahre hindurch wachsen und in den folgenden Jahren wieder zurückgehen. Die Gletschermasse folgt zwar, indem sie sich ein längeres Thal abwärts bewegt, allen Krümmungen desselben, aber doch vorherrschend der Richtung des stärksten Druckes. Nach Messungen, die Forbes auf dem Montanvert von Ende Juni bis Ende September 1842 angestellt hat **), betrug in der Mitte des unteren Gletschers das mittlere Fortschreiten in 24 Stunden 16,7 engl. oder 15,67 franz. Zoll, und gleichzeitig auf dem oberen Gletscher, in der Nähe des Firns 10,2 engl. oder 9,57 franz. Zoll. Die größten Abweichungen waren auf dem unteren Gletscher 3,6 engl. Zoll, auf dem oberen 4,1 Zoll. Die Bewegung war in den Nachtstunden etwas schwächer als in Tagesstunden und an warmen Tagen, auch am Rande des Gletschers etwas schwächer als in der Mitte. Eine starke Abnahme der Bewegung von der Mitte nach dem Rande hin stellten die Untersuchungen von Agassiz auf dem Aargletscher heraus. Die jährliche Bewegung dieses Gletschers beträgt nach Agassiz 220 Fuß, und Hugi giebt das Vorschreiten des Grindelwaldgletschers, Ende August 1842, in 24 Stunden gleich 12 bis 14 Zoll an. Auf die Geschwindigkeit der abwärts gehenden Bewegung übt also die äußere Temperatur einen merklichen Einfluß, in der Art, daß sie mit dieser wächst und abnimmt. So ist die Bewegung nicht allein am Tage größer als in der Nacht, sondern auch im Sommer schneller als im Winter. Befördert wird sie auch durch einen warmen Regen, durch eine Bedeckung mit Schnee aber verzögert. Die Geschwindigkeit wird überhaupt beschleunigt durch jede Ursache, welche die Wassermenge im Inneren des Gletschers vermehrt, und verzögert durch jeden Umstand, der diese Wassermenge vermindert ***). Diese Abhängigkeit geht deutlich hervor

---

*) Desor, compt. rend. de rech. en 1840 et 1842. Bibl. univ. 1843; excurs. dans les glaciers. 1844 u. 1845; de Charpentier, essai sur les glaciers. 1841; Martins, des glac. sans névé, Ann. geol. de Riviér. 1842; Bull. géol. 1845; Forbes, travels. 1845; 10 et 11 letter on glaciers. Edinb. ph. J. 1846; Bibl. univ. 1846; Studer, Briefe über Gletscher, Höpfner's Magazin. Bd. I. 1787.

**) Bibl. univ. de Gen. T. XLII. p. 340 u. 345; Studer, physik. Geographie und Geologie. Bd. I. S. 125. Bern 1844.

***) Studer, physik. Geographie und Geologie. Bd. II. S. 345.

aus den Messungen, welche durch Forbes auf den Gletschern von Chamouni veranstaltet wurden. Das Minimum der Geschwindigkeit fällt in den Januar, das Maximum derselben auf das Ende des Juni.

Es war J. G. Altmann *), der zuerst mit Bestimmtheit die Meinung aussprach, daß das Fortrücken der Gletscher durch das eigene Gewicht ihrer Masse auf einer schief geneigten Fläche bewirkt werde. Diese Ansicht, welcher Gruner **) und H. B. de Saussure ***) beistimmten, wurde von dem letzteren zu einer Theorie ausgebildet, die derselbe im Jahre 1779 durch den Druck veröffentlichen ließ. Ganz mit dieser Theorie übereinstimmend ist die Darstellung Kuhn's ****) über den Mechanismus der Gletscher. In neuerer Zeit hat P. Merian *****) eine lichtvolle Darstellung dieser Theorie mit Berücksichtigung entgegenstehender Ansichten gegeben.

Nach Saussure's Theorie sind es zwei Umstände, durch welche das Fortrücken der Gletscher vorzugsweise bedingt wird; nämlich der abwärts wirkende Druck, der wieder abhängig ist von der Neigung der Bodenfläche und vom Gewichte der aufliegenden Eismasse, und die Größe des an dem Boden stattfindenden Abschmelzens. Die Ursachen aber, welche dieses Abschmelzen an der unteren Fläche des Gletschers bewirken, sind nach Merian †), das von außen in die Klüfte des Gletschers eindringende Wasser, die eindringende warme Luft, die Wärme des Erdbodens, und endlich die Quellen, die unter dem Gletscher entspringen. Das Abschmelzen wird thatsächlich bekundet durch die Höhlungen, die sich unter vielen Gletschern zwischen dem Boden und Eise hinziehen. Die Eisgewölbe, unter welchen die Gletscherbäche am unteren Ende vieler Gletscher hervorkommen, ziehen sich öfter weit unter die Gletscher hinein, und verzweigen sich auf mannichfache Weise ††).

Als die wirksamste Ursache des Abschmelzens muß man mit Merian das an den Boden des Gletschers gelangende Wasser ansehen. Agassiz †††) fand die Temperatur der kleinen Wasserrinnen und Bäche auf der Oberfläche der Gletscher immer sehr genau auf 0°, so lange sie auf reinem Eise flossen, welches auch die Wärme der umgebenden Luft sein mochte, sobald sie aber auf der Oberfläche des Gletschers über Sand und Kies rieselten, stieg ihre Temperatur höher, bis zu + 0,6°. Eben so verhielt es sich mit dem in den oberflächlichen Vertiefungen des Gletschereises sich ansammelnden Wasser. Das an der Oberfläche entstandene Schmelzwasser wird also, wenn es durch die Klüfte des Gletschers abfließt, zum Abschmelzen des Eises im Inneren seiner Masse und auf dem Boden beitragen. In viel höherem Maße nun muß dies bei dem Wasser der Fall sein, das über die von Schnee entblößten, den Gletscher einschließenden Thalwände demselben zuströmt

*) Beschreibung der helvetischen Eisberge. 1751.

**) Die Eisgebirge des Schweizerlandes. 1760.

***) Voyag. de les alp. 1803. T. I.

****) Höpfner's Magazin. 1787. Bd. I. und Nachtrag Bd. III.

*****) Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel. 1843; Poggend. Ann. Bd. LX. S. 417.

†) Poggend. Ann. Bd. LX. S. 529.

††) Wyß, Reise ins Berner Oberland. S. 653; Hugi, Alpenreise. S. 261.

†††) Etudes sur les glaciers, avec atlas. 1840. p. 206. In diesem Atlas befinden sich vortreffliche Abbildungen von Gletschern (in verschiedenen Zuständen).

und unter seine Masse sich versenkt. In ähnlicher Weise wirkt das auf die Oberfläche des Gletschers herabfallende und von den Seiten ihm zufließende Regenwasser. Einige Beobachtungen von Bischof*), Ennemoser und Agassiz**) machen es sehr wahrscheinlich, daß die unter den Gletscher gelangenden Wasser nicht unter allen Umständen ihren Temperaturüberschuß über 0° vollständig abgeben, bis sie am Ende des Gletschers wieder zu Tage kommen. Allerdings können die Schmelzwasser auch im günstigsten Falle nur mit einem geringen Temperaturüberschuß über 0° an den Boden des Gletschers gelangen.

Die in den Zwischenräumen des Gletschers enthaltene, auf 0° stehende Luft hat das Bestreben, sich mit der äußeren, zur Sommerzeit stärker erwärmten Luft ins Gleichgewicht zu setzen. Dieselbe wird, wie die Luft in den Bergwerken, in den abwärts geneigten Canälen in die Tiefe sinken, zu den unten liegenden Oeffnungen ausströmen, während die wärmere äußere Luft durch die höher liegenden Oeffnungen eingesogen wird, und, indem sie durch die Höhlungen des Eises dringt, zu deren Erweiterung durch Abschmelzung beiträgt. Wie bei den Luftzügen der Bergwerke (s. d. Art. Höhlen) ist dieser Luftwechsel in den hohlen Räumen unter dem Gletscher, und der an gewissen Stellen ausströmende Gletscherwind um so stärker, je größer der Temperaturunterschied zwischen der äußeren und inneren Luft ist, also stärker bei sehr warmen Tagen als sonst. Wenn die Temperatur der äußeren Luft aber merklich unter 0° sinkt, so kann die Richtung der Luftströmungen freilich auch im entgegengesetzten Sinne eintreten und erkältend im Inneren des Gletschers wirken. Doch ist diese Einwirkung ungleich beschränkter, weil durch das eintretende Gefrieren des durchsickernden Wassers die kalte Luft den ferneren Zugang in das Innere des Gletschers sich bald verstopft. Im Winter kommt noch dazu die bedeckende äußere Schneehülle, welche die Zugänge zu den Höhlungen der Gletscher von außen ebenfalls verschließt ***).

Da die Wärme des Erdkörpers von einer gewissen Schicht an nach unten zunimmt, so hält man es für wahrscheinlich, daß an allen Punkten der Erdoberfläche Wärme ausströmt, bei dem stattfindenden Vertheilungszustande freilich in so geringer Menge, daß sie die mittlere Lufttemperatur eines Ortes nicht merklich zu erhöhen vermag. Elie de Beaumont****) berechnet, daß die Wärmeausstrahlung für Paris jährlich eine $6^1/_2$ Millimeter dicke Eisrinde schmelzen kann. Es nimmt diese Größe zu, wenn die Zunahme der Wärme gegen das Erdinnere, oder wenn die Wärmeleitungsfähigkeit des Erdbodens wächst. Die Veränderungen dieser Größen können aber nach Elie de Beaumont's Ansicht nicht sehr beträchtlich sein. Die Vertheilung der Wärme nach dem Erdinnern wird, wie Merian meint, hauptsächlich abhängig sein von der Temperatur, die an der weit ausgedehnteren, vom Gletscher nicht bedeckten Bodenfläche herrscht. Auf dem verhältnißmäßig sehr geringen Flächenraume, der vom Gletschereis bedeckt wird, müsse daher in der äußersten Erdhülle ausnahmsweise eine stärkere Temperaturzunahme nach innen eintreten. Doch liefert die Abschmelzung, welche in Folge der Wärmeausstrahlung des Erdkörpers unter dem Gletscher erfolgt, nur einen verhältniß-

*) Wärmelehre. S. 109.
**) Etud. p. 215.
***) Merian, a. a. O.
****) Leonhard und Bronn, Jahrbuch 1842. S. 855.

mäßig sehr kleinen Beitrag zu der Wassermasse der Bäche, die aus den Gletschern abfließen. Dagegen kann die Erdwärme auf eine mehr mittelbare Weise abschmelzend auf die untere Fläche der Gletscher einwirken, nämlich durch die Quellen, welche unter dem Gletscher selbst entspringen, und die, wenn sie aus einer etwas beträchtlichen Tiefe kommen, die wärmere Temperatur der tieferen Erdschichten mit sich bringen. Diese Ursache des Abschmelzens ist indeß eine durchaus örtliche, und kann da nicht mehr vorkommen, wo die Mitteltemperatur der Oberfläche des Bodens unter 0° sinkt, derselbe folglich in einer gewissen Tiefe fortwährend gefroren bleibt, die atmosphärischen Wasser daher nicht mehr eindringen können.

Durch das Abschmelzen der unteren Fläche löst sich nun der Zusammenhang an allen Stellen, wo die Masse auf der Grundlage aufsitzt, und es muß ein Zeitpunkt eintreten, wo der Druck von oben den Widerstand an der Grundfläche überwindet und die Masse weiter gleitet. So wie aber das Gleiten eintritt, vermehren sich durch Nachgiebigkeit der ganzen Masse die Berührungsstellen, der Gletscher greift wieder vollständiger ein in die Unebenheiten der Unterlage, der Zusammenhang mit derselben nimmt zu, bis er durch die immer fortschreitende Abschmelzung wieder geschwächt wird. So erlangt der Gletscher bei seiner Fortbewegung niemals ein starkes Bewegungsmoment; die durch das fortwährende Abschmelzen an der Grundfläche eingeleitete Bewegung wird eben so allmälig durch die mit der Bewegung selbst wieder zunehmende Reibung gehemmt, und diese wieder eben so allmälig vermindert. Der Gletscher muß sich also mit gleichmäßiger langsamer Bewegung fortschieben, so lange das Abschmelzen an der Bodenfläche in gleichem Maße vor sich geht, und der Druck von oben auf der geneigten Grundfläche derselbe bleibt *).

Es ist nun nach dem Vorstehenden leicht zu ersehen, daß das Vorrücken im Sommer stärker als im Winter, und am Tage wieder bedeutender als des Nachts sein muß. Die fortschreitende Bewegung des Gletschers wird sich vermindern müssen, wenn die Menge sowohl, als die Wärme der in den Gletscher eindringenden Wasser abnimmt.

Ist die Abschmelzung gering, so kann auf sehr geneigter Grundfläche ein Gletscher langsamer vorrücken, als einer von demselben Gewicht, der auf einer viel weniger geneigten Bodenfläche ruht, auf welcher aber das Abschmelzen viel rascher vor sich geht. Ist das Abschmelzen gleich, so muß unter sonst gleichen Umständen das Vorrücken auf einer geneigten Unterlage allerdings schneller vor sich gehen.

Wenn ein Gletscher in verschiedenen Abständen von seinem unteren Ende aus irgend einer Ursache mit verschiedener Geschwindigkeit vorrückt, so werden, falls ein weiter thalabwärts liegender Theil schneller vorschreitet, eine Menge von Spalten entstehen, weil die hinterliegenden Theile nicht nachkommen, und die Längenausdehnung des Gletschers wird dann in Folge der vielen entstehenden und sich erweiternden leeren Räume zunehmen, während die Gesammtheit der vorhandenen Eismasse dennoch in stetem Abnehmen begriffen ist. Es ist aber auch möglich, daß ein thalaufwärts liegender Theil des Gletschers sich schneller bewegt als ein ihm vorliegender. In diesem Falle wird ein Druck der hinterliegenden Massen gegen die vorliegenden entstehen, wodurch zunächst vorhandene Spaltungen geschlossen

*) Merian, Poggend. Ann. Bd. LX. S. 535.

werden. Durch diesen von hinten wirkenden Druck und den weiter abwärts stattfindenden Widerstand, wird dann die ganze Gletschermasse sich aufstauen; die Dicke des Gletschers wird an solchen Stellen zunehmen, bis das weitere Nachdrücken von hinten mit dem vorliegenden Widerstande sich ins Gleichgewicht gesetzt hat. Diese Erscheinung wird vorzüglich eintreten, wo das Bett des Gletschers von einer starken Neigung plötzlich zu einer weit geringeren übergeht. Diese Vorgänge können einige Abänderungen erleiden durch das Abschmelzen, welches im Gletschereise nicht nur an der Oberfläche und am Boden, sondern auch in seiner ganzen Masse durch die Einwirkung der warmen Luft (in den Zwischenräumen der stark zerklüfteten Masse), durch die von der Oberfläche herabfließenden Schmelzwasser, und noch mehr durch die herabfließenden wärmeren Regenwasser stattfindet. Hiernach lassen sich Stellen an einem Gletscher denken, wo in Folge einer stärkeren Bewegung der thalaufwärts liegenden Theile die Entfernung zwischen zwei gegebenen Punkten der Oberfläche abnimmt, ohne eine damit verbundene Zunahme der Mächtigkeit des Gletschers, indem blos die durch das allseitige Abschmelzen erfolgende Erweiterung aller Klüfte, durch das schnellere Nachrücken von oben ganz oder theilweise ersetzt wird *).

Daß die Bewegung des Gletschers in der Mitte größer ist als an den beiden Seitenwänden, hat wohl wahrscheinlich seinen Grund in dem stärkeren Druck der in der Mitte des Gletschers mächtigeren Eismassen, und in der größeren Menge der eindringenden Wasser, welche in Folge der Neigung des Bodens daselbst zusammenfließen und eine stärkere Abschmelzung bewirken. Mit dieser ungleichförmigen Bewegung muß ein Verschieben der gegenseitigen Lage zweier ungleich vom Rande entfernter Punkte auf dem Gletscher verbunden sein. Längenspalten können dadurch aber nicht entstehen, weil die in der Mitte schneller nachrückende Masse alle entstehenden Zwischenräume sofort wieder ausfüllt oder sie vielmehr gar nicht zum Entstehen kommen läßt, auf ähnliche Weise, wie die Querspalten in einem Gletscher sich schließen, wenn die Bewegung des Gletschereises oberhalb stärker ist, als mehr thalabwärts.

J. J. Scheuchzer **) stellte die Ansicht auf, daß die Bewegung des Gletschereises hervorgebracht werde durch das Wasser, das in den Spalten und sonstigen Zwischenräumen sich ansammele und daselbst gefriere. Das gefrierende Wasser sucht einen größeren Raum einzunehmen, und drängt den Gletscher, indem es nach allen Seiten einen Druck ausübt, thalabwärts. Diese Ansicht, welche in neuerer Zeit noch T. v. Charpentier ***) und Biselx ****) festzuhalten suchten, wird schon genügend durch die Thatsache widerlegt *****), daß die Gletscherspalten in den Sommermonaten, wo das Eis der Gletscher in stetig fortschreitender Bewegung ist, nur ausnahmsweise mit Wasser gefüllt sind, das in den kalten Nächten nur an der Oberfläche gefriert. Eine Modification und weitere Ausbildung erhielt die Ansicht von Scheuchzer durch Venetz, J. v. Charpentier †)

*) Merian, a. a. O.
**) Itin. alp. it. T. IV. 1723.
***) Gilb. Ann. Bd. LXIII. S. 388.
****) Gilb. Ann. Bd. LXIII. S. 192.
*****) Vergl. auch C. Escher, Gilb. Ann. Bd. LXIX.
†) Essai sur les glaciers. 1841.

und Agassiz *). Das an der Oberfläche des Eises (während der Sommertage) gebildete Schmelzwasser, so wie auch das Regenwasser durchdringe nämlich die zahllosen feineren Haarspalten des Eises, und wenn dasselbe nun hier in den kälteren Nächten gefriere, so werde seine ausdehnende Gewalt den Gletscher abwärts treiben. P. Merian **) wendet hiergegen ein, daß das in die Haarspalten des Gletschereises eindringende Schmelzwasser nur gefrieren könne, wenn das Eis eine niedrigere Temperatur als 0° besitze, wo dann das Wasser im Augenblick des Eindringens gefrieren müsse. Da aber im festen Erdboden die täglichen Wärmeveränderungen der Atmosphäre nur bis auf eine sehr geringe Tiefe fühlbar sind, so könne die Erkaltung der Nacht nur bis in eine sehr geringe Tiefe in das Eis des Gletschers hinabreichen, und es müsse daher auch das in den Zwischenräumen des Gletschereises enthaltene Wasser flüssig bleiben, wenn die Oberfläche des Gletschers überfriere. Auch führt Forbes ***) die Erfahrung an, daß auf einem bei eingetretener kalter Witterung schon mehrere Tage lang überfrornen Gletscher überall in der Tiefe von weniger als einem Fuß, nasses Eis anzutreffen war. Die einzige zulässige Art zu einem Wachsthume des Gletschers von innen heraus, und einer Ausdehnung durch das in seinem Innern gefrierende Wasser zu gelangen, sei die, ein Kältemagazin in seinem Inneren anzunehmen, welches bewirke, daß das täglich einsickernde Wasser sofort gefriere, wenn es in die unter 0° stehenden Theile des Gletschers gelange. Nun sind aber alle auf den Gletscher wirkenden Einflüsse, sowohl die von oben als auch die von unten herkommenden, vorzugsweise erwärmende, welche die negative Temperatur der inneren Gletschermasse auf 0° zurückzuführen streben. Ueberdies wird beim Gefrieren des Wassers die ganze latente Wärme des letzteren frei, wodurch die Temperatur des Eises erhöht und dem ferneren Gefrieren eine gewisse Grenze gesetzt wird. Agassiz ****) selbst fand bei seinen Bohrversuchen (im Jahre 1842) auf dem Aargletscher die Temperatur, bis in 200 Fuß Tiefe, auf 0°. Auch zeigte ein während des Winters von 1841 auf 1842, 24 Fuß tief in das Eis des Aargletschers beim hôtel des Neuchatelois, in ungefähr 7500 Fuß Meereshöhe, eingesenkter Thermometrograph keine tiefere Winterkälte als — 0,3 C.

Nach Charpentier muß die ausdehnende Gewalt des gefrierenden Wassers vorzüglich nach der Richtung sich äußern, wo sie am wenigsten Widerstand findet; also einerseits in der Richtung des Abhanges oder der Länge des Gletschers, andererseits nach der Richtung der Dicke des Eises, von der unteren Fläche des Gletschers nach oben, denn nach den anderen Richtungen findet sie Widerstand, sowohl von dem Berge, von welchem der Gletscher herabkommt, als von den Thalwänden, die ihn der Länge nach zu beiden Seiten einschließen. Durch das Abschmelzen an der Oberfläche und am Ende des Gletschers bleibe nur längs des Gletschers die thalabwärtsgehende Bewegung des Eises bemerkbar.

Wäre eine solche Erklärung die richtige, sagt P. Merian †), so müßte man

---

*) Etudes sur les glac. 1840; s. auch Desor, compte rendu de rech. en 1841 et 42, Bibl. univ. 1843.

**) Poggend. Ann. Bd. LX. S. 427 ff.

***) Bibl. univ. de Genève. T. XLII. p. 363.

****) Compt. rendu T. XV. p. 204 u. 736.

†) Poggend. Ann. Bd. LX. S. 434.

am oberen Ende des Gletschers und an den ihn einschließenden Thalwänden Spuren der nach diesen Richtungen sich äußernden ausdehnenden Kraft des Eises finden, da der hier erfolgende Widerstand und nicht das eigene Gewicht des Eises es sein soll, welcher den Gletscher thalabwärts drängt. Nun bemerkt aber Charpentier selbst, daß, wenn der Gletscher an seinem oberen Ende an einer Felswand endigt, das Zusammensinken des Eises die unmittelbare Berührung hindert und eine weite Kluft zwischen der Felswand und dem Gletscher erzeugt. Also gerade das Gegentheil von einem Anstemmen des Eises gegen das hinterliegende Gebirge, und eine Erklärung des Ablösens durch das eigene Gewicht des Eises nach Saussure'schen Grundsätzen. Ueberhaupt müsse eine in der ganzen Eismasse vor sich gehende Ausdehnung alle Spalten, leeren Zwischenräume und Klüfte, die den Gletscher durchziehen, und ihn von den einschließenden Felswänden trennen, vollständig schließen, ehe sie eine mehrere Stunden lange Eismasse, auf öfter wenig geneigter Unterlage, abwärts zu schieben vermöchte. Von diesem Allen bemerkt man nichts. Die Reibung, die beim Vorwärtsschieben einer so ungeheuren Eismasse zu überwinden sei, ließe schlechterdings keine andere Ausdehnung zu als ein Aufquellen der ganzen Eismasse nach der Dicke, auch ohne die Annahme, die Charpentier außerdem noch vertheidigt, daß der ganze Gletscher an seiner Grundfläche angefroren sei. Bei einer Ausdehnung, die in der ganzen Gletschermasse sich kund giebt, ist eher ein Aufquellen an allen Stellen, als ein merkliches Vorwärtsschieben des Gletschers zu erwarten.

Aus den vorstehenden Betrachtungen, die sich noch weiter fortsetzen ließen, erhellet wohl zur Genüge, daß der Saussure'schen Theorie von der Vorwärtsbewegung der Gletscher eine sehr überwiegende Wahrscheinlichkeit zukommt. Auch Forbes *), der mit Erfolg gegen die Ansichten von Charpentier aufgetreten ist, nimmt an, daß die Gletscher vorzugsweise durch die Schwere in Bewegung gesetzt werden. Doch ist es nicht nöthig, das Gletschereis (mit Forbes) gewissermaßen als eine halb flüssige Masse zu betrachten. Nach Untersuchungen von A. und H. Schlaginweit **) kann dem Eise keine größere Plasticität als den leicht prägbaren Metallen zugeschrieben werden. Was aber die im Großen sich kundgebende, auffällige Verschiebung der Gletschertheile anlangt, so scheint dieselbe mehr eine Folge des Druckes zu sein, den die so bedeutende Masse auf sich selbst ausübt.

Gebirgsschutt und Felsblöcke, die von den Thalwänden auf den Gletscher herabfallen, werden von diesem weiter geführt und bilden dann wallartige Erhöhungen oder Schuttwälle (Gandecken, Moränen). Solcher Gandecken giebt es in der Regel zwei, die den Gletscher seiner Länge nach auf beiden Seiten begleiten. Bei der Vereinigung zweier Gletscher, was vorkommt, wenn Gletscher aus verschiedenen Hochthälern in tieferen Thälern zusammenkommen, vereinigen sich auch die einander zugewandten Schuttwälle (Seitengandecken), so daß nun eine von den beiden Thalwänden entfernte Mittelgandecke oder Guferlinie (Felsschuttlinie) entsteht. Aller Schutt aber, der das vordere Gletscherende erreicht,

*) The glacier theory, Edinb. Rev. 1842; Travels in the alps. 1843; Lettres on glac., Edinb. ph. J.; Ann. de Chim. et Phys. III. Sér. T. VI. p. 251.

**) Physik. Untersuch. des Eises. Leipzig 1850.

fällt hier hinunter und bildet daselbst gleichfalls einen Schuttwall, eine sogenannte Endgandecke, die sich von der einen Seitengandecke zur anderen erstreckt. Da nun der Gletscher an seinem vorderen Ende abschmilzt, so bleibt dieser Schuttwall zurück, und auf dem vorherigen, nunmehr freien Gletscherboden kann sich auf gleiche Weise ein zweiter, dritter Schuttwall u. s. f. bilden, wenn der vordere Gletscherrand durch Abschmelzen periodisch zurückgeht. Diese Wälle zeigen dann eine concentrische Anordnung, deren Convexität dem Thalausgang zugewendet ist. Rückt der Gletscher wieder vor, so werden die verschiedenen Schuttwälle durch die Eismasse fortgestoßen und zu einem neuen Trümmerwall angehäuft. Die Höhe und Masse der Gandecken und Guferlinien ist, je nach der Menge der Trümmer, welche die umgebenden Gebirge liefern, sehr ungleich. Die Endgandecke zeigt eine große Mannichfaltigkeit von Steinarten, indem hier alle Felsarten sich sammeln, die in der ganzen Ausdehnung des Gletschers und seiner Zuflüsse auf die Eisdecke fallen. Mehr Gleichartigkeit findet man in den Seitengandecken. Die Gestalt der Trümmer in den verschiedenen Gandecken hängt von der größeren oder geringeren Reibung ab, die sie erlitten haben *).

Während die Oberfläche vieler Gletscher, mit Ausnahme der Guferlinien, fast rein von Schutt erscheint, sind andere, deren Hintergrund von leicht zertrümmerten Felsen überragt wird, oder in Folge von Schlammströmen, die sich bei zerstörenden Gewittern über dieselben ergießen, mit Felstrümmern oder Schlamm ganz bedeckt.

Kleinere Felsstücke und Sandhaufen werden von den Sonnenstrahlen so stark erwärmt, daß das unter ihnen befindliche Eis lebhafter hinwegschmilzt. Auf diese Weise entstehen Löcher, die die Gestalt hohler Kegel zeigen, wenn das in ihnen gesammelte Wasser nach unten einen Abzug gewinnt. Größere Felsblöcke dagegen halten die Wärmestrahlen von dem Eise ab, das sie bedecken, während die umliegende Gletschermasse durch Abschmelzen sich vermindert. So kommt der Felsblock allmälig auf eine mehr oder weniger hohe Eissäule zu liegen, und es entsteht ein sogenannter Gletschertisch. Manche dieser Felsblöcke sollen im größten Durchmesser 30 und mehr Fuß betragen. Auch die größeren Guferlinien befinden sich in der Regel auf einer Eisbank von einer mitunter bedeutenden Höhe.

Schuttwälle, die als Endgandecken erscheinen, trifft man in großen Entfernungen von dem jetzigen Gebiet der Gletscher an. Argentière, im Hintergrunde von Chamouny, erzählt Studer **), liegt zwischen zwei wohl 100 F. hohen alten Gandecken, welche quer durch das Thal ziehen, in beträchtlicher Entfernung von den jetzigen Gletschern. Etwas nördlich vom Dorfe Simplon durchschneidet die Straße drei alte Gandecken des Roßbodengletschers, der jetzt von der äußersten 7000 Fuß entfernt ist. Ja selbst außerhalb des Alpengebirges, in noch viel größerer Entfernung von den Gletschern hat man Hügelzüge getroffen, die ganz das Ansehen der Gandecken haben. Die Ebene von Ivrea wird östlich von einem 600 bis 1000 Fuß hohen und sehr breiten Trümmerwall umschlossen, dessen Blöcke aus dem Hintergrunde der Aostathäler abstammen. Der Hügelzug biegt sich unterhalb Ivrea westwärts der Dora zu und scheint jenseits derselben in der Anhäufung großer Geschiebe fortzusetzen, welche den rechtseitigen Thalabhang

*) Studer, Physik. Geographie und Geologie. Bd. I. S. 234.
**) Studer, Physik. Geographie und Geologie. Bd. I. S. 237.

bedecken. Die Gestalt dieser Hügelmasse und ihre Zusammensetzung aus großen eckigten Blöcken, die von kleinerem Gebirgsschutt eingehüllt sind, erinnert durchaus an neuere Gandecken, die Entfernung vom nächsten Gletscher, am südlichen Abhange der Gruppe des Monte-Rosa, beträgt aber bei 7 geogr. Meilen.

Diesen Anführungen zufolge scheinen die Gletscher in früherer Zeit von einer ungewöhnlich großen Ausdehnung gewesen zu sein. Auch hat man aus den vorerwähnten Thatsachen den Schluß gezogen, daß die Verbreitung der erratischen Blöcke durch Gletscher geschehen sei. Diese Blöcke sind Felstrümmer, welche von den benachbarten Felsarten so verschieden sind, daß sie in den Gegenden, wo man sie findet, als eigentliche Fremdlinge erscheinen, deren Heimath oft in sehr weiter Ferne liegt. Solche Blöcke findet man an dem nördlichen und südlichen Fuße der Alpen, in besonders großartiger Weise aber im nördlichen Europa und Amerika. Die im nördlichen Europa (im östlichen England, in den Niederlanden, in der ganzen norddeutschen Ebene, über Polen, Litthauen, Curland rc.) vorkommenden Blöcke gehören ihrem mineralogischen Charakter nach Felsarten an, wie sie im skandinavischen Norden gefunden werden. Nach einer von Venetz *), Charpentier **) und namentlich von Agassiz ***) ausgebildeten Ansicht sollen sich nun die Gletscher vom ursprünglichen Stammorte der Blöcke bis an deren jetzige Lagerstätte ausgedehnt haben, und dieselben auf die oben beschriebene Weise aus den höheren Gebirgsgegenden herabgeführt haben. Nach Agassiz gab es einen Zeitpunkt, wo ein großer Theil der Erdoberfläche von einer Eisrinde bedeckt war, die in einer späteren wärmeren Periode in den Ebenen sich löste, während in den Bergketten Gletschersysteme von beträchtlicher Ausdehnung zurückblieben, und erratische Blöcke mit sich forttrugen. Die jetzt vorhandenen Gletscher sind die geringen Ueberreste der ehemaligen so großen Eisrinde.

Nach L. v. Buch sind die erratischen Blöcke in Folge einer ungeheuren Fluth aus den höheren Gebirgsgegenden in die Ebenen geführt worden. Damit soll aber, wie die Vertheidiger obiger Ansicht einwenden, die Form der größeren Blöcke nicht übereinstimmen, da dieselben öfter eckig und scharfkantig erscheinen, während doch eine Bewegung im Wasser eine Abstumpfung habe herbeiführen müssen. Dann seien auch Blöcke von allen Formen und Größen durch einander gewirrt; die allmälig abnehmende Gewalt eines auch noch so schnellen Stromes reiße dagegen größere Blöcke auf geringere, kleinere auf weitere Strecken mit sich fort. Die Ablagerungen der Blöcke erschienen ferner sehr oft in concentrischen Wällen, die das Thal schließen und nur vom Thalwasser durchbrochen sind; ein Strom baue sich aber selbst keine Dämme in den Weg, reiße vielmehr die, welche er finde, hinweg. Dann zeige auch der Felsboden, auf dem die Blöcke liegen, die Politur der Schliffflächen, wie sie unter Gletschern beobachtet worden seien. Endlich sei die Ablagerung der Felsblöcke keineswegs eine ordnungslose, wie es wohl eine

---

*) Sur les variations de la températ. dans les alpes. 1821; Schweizer Denkschriften 1833.

**) Fröbel und Heer, Mittheilungen. Bd. I. 1836 und Ann. des mines T. VIII.; Bibl. univ. 1842. — Notice sur la cause probable du transport des blocs erratiques de la Suisse par J. de Charpentier. 1835. — Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du Bassin du Rhone. Laus. 1841.

***) Actes de la soc. helv. 1837; études sur les glac. 1840.

Strombewegung mit sich bringe, sondern die Blöcke wären je nach ihrer Abstammung auf besondere Bezirke beschränkt, ohne sich mit einander zu mengen.

Es ist übrigens nicht wahrscheinlich, daß alle erratischen Blöcke auf gleiche Weise an ihre jetzige Lagerstätte gelangt seien. Nach Studer *) lassen sich in der Schweiz wenigstens drei Classen derselben unterscheiden; nämlich Blöcke mit scharfen Kanten, frei liegend, oder in ungeschichtetem Lehm oder Kies, dann Blöcke mit abgerundeten Kanten, in stratificirtem Kies, und drittens Blöcke, theils eckig, theils gerundet, die in ältere Formationen eingewickelt, und, wenn sie frei liegen, aus diesen herausgefallen oder durch Gewässer entblöst worden sind. Im nördlichen Europa, in Nordamerika, und wahrscheinlich überall, wo die Erscheinung sich zeigt, ist diese Unterscheidung ebenfalls festzuhalten. Betrachtet man nun die erratischen Blöcke als eine Strandbildung, so wäre der Raum zwischen ihrem Stammort und der jetzigen Lagerstätte von Wasser bedeckt gewesen, und die Blöcke könnten auf einer Unterlage von Treibeis **) über die Wasserfläche getragen worden sein. Diese Ansicht ist nach Studer vorzugsweise auf die Blöcke der ersten Classe anwendbar, schließe jedoch auch diejenigen der zweiten nicht aus, wenn man annehme, daß die Blöcke bereits gerundet von einer secundären Lagerstätte auf das Eis gefallen seien, und daß das Stranden von Treibeis an demselben Küstenpunkte sich wiederholt habe. Auf die Blöcke der Alpen könne diese Ansicht aber nur eine sehr beschränkte, wenn je Anwendung finden. Denn die linearen Anhäufungen der Blöcke kämen auf sehr ungleichen Höhen vor, und jede müsse einen besonderen Strand, oder, was dasselbe, ein verschiedenes Niveau der Wassermasse bezeichnen, die Wasserbedeckung daher eine sehr lange Zeit gedauert haben. Dasselbe ergebe sich aus der Seltenheit des Vorkommens und Strandens von Treibeis, das größere Blöcke trägt, auf dem jetzigen Meere, verglichen mit der großen Zahl erratischer Blöcke in der Schweiz. Ueberdies verstoße es gegen Alles, was die Beobachtung des neueren Strandens uns lehrt, daß eine so lange anhaltende Wasserbedeckung keine Spur anderer Strandbildungen und organischer Ueberreste hinterlassen habe. Aehnliche Schwierigkeiten stellen sich bei der Anwendung dieses Princips auf die Verbreitung der skandinavischen Blöcke heraus, da auch hier meist jede Anzeige einer wirklichen Strandbildung zu fehlen scheint.

Sollten nun auch diese Schwierigkeiten großentheils wegfallen, wenn man die Fortführung der erratischen Blöcke durch die Thätigkeit von Gletschern geschehen sein läßt, so ist doch nicht zu übersehen, daß es einmal an zureichenden Gründen fehlt, welche den Ursprung so ausgedehnter Eismassen, wie sie Agassiz annimmt, einigermaßen wahrscheinlich machen, und daß auch die Bewegungsverhältnisse dieser Massen nach den Gesetzen der jetzigen Gletscherbewegung nicht so ohne Weiteres mit Evidenz dargelegt werden können.

Glimmer, s. Berg. Bd. I. S. 784.

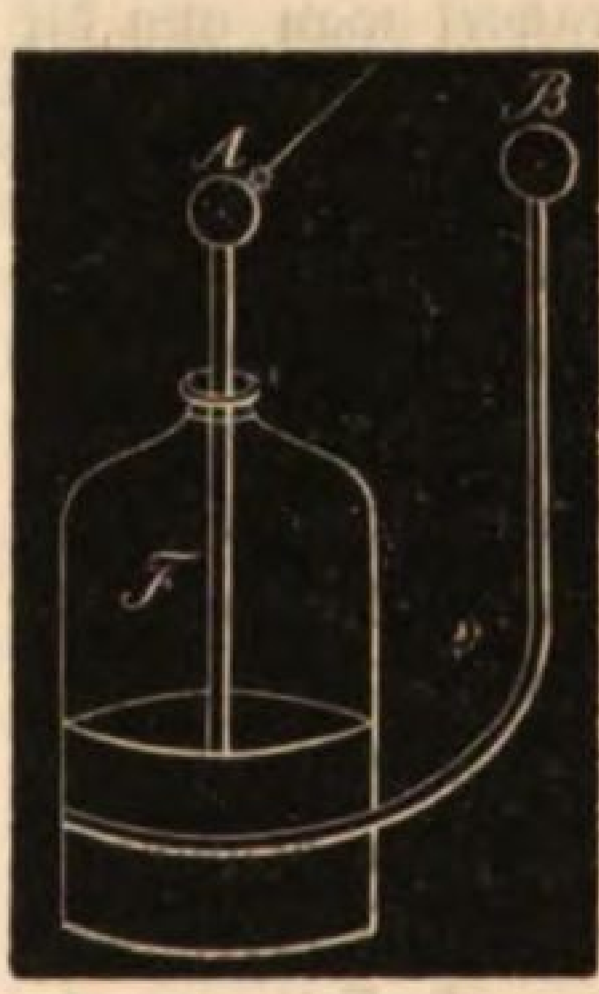
Globus, s. Himmelskugel.

Glockenspiel, elektrisches. Dasselbe besteht gewöhnlich aus einem messingenen Träger, der mittelst eines Hakens am Conductor einer Elektrisirmaschine

*) Physik. Geographie und Geologie. Bd. I. S. 192.

**) S. Lyell, Princ. of Geol. u. Elem. of Geol.; de la Bêche, Geol. manual; Darwin, research. in geol. and nat. hist.; Murchison, silurian syst. u. address for 1842 and 1843; Bronn, Jahrb. für Mineral. 1842.

befestigt ist. An den beiden Enden dieses Trägers hängen an Ketten zwei Glöckchen herab, und in der Mitte an einem seidenen Faden ein anderes, das durch ein Kettchen mit der Erde in leitender Gemeinschaft steht. Ueberdies ist zwischen je zwei Glöckchen ein Metallkügelchen vermittelst eines seidenen Fadens angebracht. Wird nun die Maschine in Thätigkeit gesetzt, so theilt sich die Elektricität des Conductors den beiden äußeren Metallglöckchen mit, welche die Kügelchen heranziehen, um sie wieder abzustoßen, sobald dieselben mit ihnen gleichnamig elektrisirt sind. Nachdem dies geschehen, bewegen sie sich gegen das mittlere Glöckchen hin, das ihre Elektricität aufnimmt und zur Erde ableitet. Bei diesen Bewegungen, die sich, so lange die Maschine thätig ist, in derselben Weise wiederholen, schlagen die Kügelchen an die Glöckchen, wodurch ein anhaltendes Geläute veranlaßt wird, dem man auch durch die Verbindung einer größeren Anzahl verschiedener Glöckchen eine größere Mannichfaltigkeit verleihen kann.



Ein elektrisches Glockenspiel läßt sich auch auf folgende Weise herstellen. Um die äußere Belegung einer Leydner Flasche F lege man einen messingenen Reif, von dem aus ein krummgebogener Metallstab mit einer Kugel B in die Höhe geht, so daß die Kugel B der Kugel des Leitungsdrahtes zur inneren Belegung A in einer Entfernung gegenübersteht, welche etwas größer als die Schlagweite ist. Bringt man nun auf den Knöpfen A und B metallene Glöckchen und zwischen beiden an einem seidenen Faden ein Metallkügelchen an, so wird dieses, falls die Flasche geladen und isolirt aufgestellt ist, von denselben abwechselnd angezogen und abgestoßen, so daß es durch das Anschlagen an die Glöckchen ein Geläute erzeugt, welches so lange anhält, bis die Flasche entladen ist.

Glühlämpchen, s. Verbrennung.

Glycium oder **Beryllium** ist das von Wöhler und Bussy 1828 zuerst dargestellte Metall der Glycin- oder Beryllerde, die 1798 von Vauquelin entdeckt wurde. Es findet sich in der Natur nur in Verbindung mit Sauerstoff als die genannte Erde in wenigen nicht sehr verbreiteten Mineralien — dem Beryll, Chrysoberyll, Phenakit 2c. — in welchen die Beryllerde entweder nur mit Kieselsäure oder mit anderen Silikaten verbunden enthalten ist. Das Glycium gewinnt man durch Erhitzen des Chlorberylliums mit Kalium, wodurch die Reduction unter Explosion bewirkt wird. Nach Entfernung des gebildeten Chlorkaliums durch Behandlung mit Wasser, erhält man das Metall als schwarzgraues Pulver, das unter dem Polirstahl metallglänzend wird; es ist strengflüssig, oxydirt sich bei gewöhnlicher Temperatur nicht an der Luft und im Wasser, auch nicht im siedenden Wasser; an der Luft geglüht verbrennt es zu Beryllerde, im Sauerstoffgase mit großem Glanze; verdünnte Salz- und Schwefelsäure lösen es unter Entwickelung von Wasserstoff; mit Salpetersäure entwickelt es Stickoxyd, und mit concentrirter Schwefelsäure schweflige Säure. Man kennt nur eine Verbindung des Metalls mit Sauerstoff, die Beryllerde oder Süßerde (wegen des süßen Geschmacks ihrer Salze; daher auch der Name Glycinerde) — G_2O_3, welche im reinen Zustande getrocknet ein leichtes, sehr voluminöses weißes Pulver

von 2,967 specifischem Gewicht bildet, im Wasser unlöslich ist, und nur im Sauerstoffgebläse schmilzt. Von der ihr sehr ähnlichen Thonerde unterscheidet sie sich durch das Verhalten gegen kohlensaures Ammoniak, worin sie sich leicht auflöst, und gegen verdünnte kaustische Kalilauge, von welcher sie in der Kälte gelöst, durch Kochen aber wieder ausgeschieden wird; sie giebt ferner mit salpetersaurem Kobaltoxydul befeuchtet und geglüht keine blaue Färbung. Das Beryllerdehydrat entsteht durch Fällen eines aufgelösten Beryllerdesalzes mit überschüssigem Ammoniak und bildet eine farblose, dem Thonerdehydrat sehr ähnliche Masse, die nach dem Trocknen zu einem weißen Pulver zerfällt; es enthält 48,3 Proc. Wasser.

Die Verwandtschaft der Beryllerde zu den Säuren ist stärker, wie die der Thonerde, schwächer als die der Talkerde; das Hydrat zersetzt aber im Kochen Ammoniaksalze. Die Salze der Beryllerde sind farblos, zum Theil krystallisirbar und meist in Wasser auflöslich. Die schwefelsaure Beryllerde bildet mit schwefelsaurem Kali ein dem Alaun ähnliches Doppelsalz von der Zusammensetzung $KO, SO_3 + G_2O_3, 3 SO_3 + 2 HO$. — In der Natur findet sich die Erde nur mit Kieselsäure verbunden vor; der Beryll ist ein Doppelsilikat von kieselsaurer Beryllerde und kieselsaurer Thonerde in hexagonalen Säulen krystallisirt. Reine kieselsaure Beryllerde kommt als Phenakit vor.

Außer mit Sauerstoff verbindet sich Glycium mit Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Selen, Phosphor, Arsenik, Tellur. H. Rt.

Gneuß, s. Berg. Bd. I. S. 784.

Gnomon, s. Meridian.

Gnomonik, s. Sonnenuhr.

Göpel, s. Rad an der Welle.

Gold. Chemisches Zeichen — Au (Aurum). Aequivalent = 196,66. Das Gold, ein seit den ältesten Zeiten schon bekanntes edles Metall, kommt in der Natur fast nur gediegen und in diesem Zustande mehr oder weniger mit Silber legirt vor in mannichfaltiger Gestalt: draht-, haar-, moos-, baumförmig-, gestrickt, in Blättchen angeflogen, in rundlichen und eckigen Körnern, selten krystallisirt. In dieser Form findet es sich auf Gängen und in verschiedenen Gebirgsarten (z. B. Granit, Sienit, Porphyr, Hornblendegestein etc.) eingesprengt, sehr häufig in Begleitung von Quarz, Schwefelkies, Blende und Bleiglanz. Die bei Weitem größte Menge wird indeß aus dem goldhaltenden Sande und Schuttgebirge (Gold-Seifengebirge) gewonnen, von welchem es große Ablagerungen in Nord- und Südamerika (Brasilien, Chili, Peru, Mexico, Californien etc.), Afrika (Nubien, Senegambien, Afshanti), Asien (Ural, Borneo, Java, Sumatra) und Australien giebt. Größere Klumpen sind selten; der bis jetzt größte (36,02 Kilogramm) wurde 1842 zu Miask am Ural gefunden. Natürliche Verbindungen des Goldes giebt es nur wenige und nicht sehr verbreitete; die wichtigsten sind Elektrum (Silber und Gold), Palladium- und Rhodiumgold, Schrifterz (mit Tellur), Weißtellur und Blättererz. Schwefel-, Arsen- und Kupferkiese und Blenden sind nicht selten goldhaltig; ob das Gold darin aber als fein zertheiltes Metall oder mit Schwefel verbunden enthalten ist, läßt sich noch nicht mit Bestimmtheit entscheiden. Auch haben neuere in der Bergschule zu London angestellte *) Versuche dargethan, daß Gold in sehr geringer,

*) Phil. Mag. T. V. p. 310.

aber merklicher Quantität fast in allen Bleisorten, in der Mennige, dem Bleiweiß, dem Bleizucker, und in allen im Handel vorkommenden Wismuthsorten enthalten ist.

Zur Darstellung des Goldes aus reichen Erzen werden diese, nachdem sie mechanisch von Bergart und Sand möglichst gereinigt worden sind, mit Borax und anderen, die beigemengte Gangart in Fluß bringenden Mitteln, Salpeter, kohlensauren Alkalien rc. geschmolzen, wodurch sich das Gold als Regulus abscheidet. Aus weniger reichen Erzen wird es entweder durch Amalgamation (s. d. Art.) oder Verschmelzen mit Blei ausgezogen, worauf Quecksilber und Blei in der beim Silber beschriebenen Weise getrennt werden. Die gewonnenen Producte enthalten meist mehr oder weniger große Quantitäten Silber oder Kupfer; um es von diesen Metallen zu befreien, muß es einer sorgfältigeren Behandlung unterworfen werden, wozu man sich verschiedener Methoden bedienen kann. Die wichtigsten Goldscheidungsmethoden sind Guß mit Schwefel, mit Schwefelantimon, durch Cämentation, durch Schwefelsäure, durch Salpetersäure (Scheidung in die Quart) und durch Königswasser.

Die Methoden 1) Guß mit Schwefel und 2) mit Schwefelantimon, bestehen im Wesentlichen darin, daß Silber und Kupfer in Schwefelmetalle übergeführt werden, während sich eine goldreiche Legirung nach 1) von Silber und Gold, nach 2) von Gold und Antimon abscheidet; das Antimon wird durch Oxydation (Abtreibung) und zuletzt durch Schmelzen des Goldes mit $^1/_2$ Gewth. Borax, $^1/_4$ Gewth. Salpeter und $^1/_4$ Gewth. Glaspulver vollständig getrennt. Die Schmelzung mit Schwefelantimon muß zur gänzlichen Reinigung von Silber und Kupfer mehrmals geschehen. Die Masse der Schwefelmetalle, das Plachmal hält geringe Mengen von Gold zurück, welche indeß durch wiederholtes Schmelzen des Plachmals als Antimongold fast vollständig erhalten werden können. Die Scheidung durch Schmelzen mit Schwefel wird nur bei armen Erzen angewendet. Man schmilzt 7 Gewth. der granulirten Legirung mit 1 Gewth. Schwefel, welcher mit dem Silber geschmolzenes Schwefelsilber bildet, in welchem das fein vertheilte Gold oder goldreiche Silber suspendirt bleibt, setzt etwas Bleiglätte hinzu, welche durch Bildung von schwefliger Säure und Schwefelblei einen Theil des Silbers wieder ausscheidet, der sich dann wieder mit dem Golde verbindet. Zuletzt unterwirft man gewöhnlich das Gemisch von Silber und Gold der Scheidung durch die Quart oder durch Schwefelsäure. 3) Scheidung durch Cämentation. Die granulirte Legirung wird mit einem Gemenge von 2 Th. Ziegenmehl und 1 Th. Kochsalz in porösen Tiegeln 24 — 36 Stunden der dunklen Rothglühhitze ausgesetzt. Der Wasserdampf des Holzfeuers dringt durch die Tiegelmasse, entwickelt aus dem Gemenge Salzsäure, welche unter Wasserstoffentwickelung mit Silber Chlorsilber bildet, das vom Ziegenmehl aufgenommen wird, während das Gold hierbei 21 — 22 karätig zurückbleibt. Dieses Verfahren wird besonders in Amerika angewendet. — Als Cäment dient auch ein Gemenge aus 4 Th. Ziegelmehl, 1 Kochsalz und 1 gebranntem Eisenvitriol. — 4) Scheidung durch Schwefelsäure. Silber und Kupfer lösen sich in heißer concentrirter Schwefelsäure unter Entwickelung von schwefliger Säure auf und gehen als schwefelsaure Oxydsalze in die Lösung über. Die zu dieser Scheidung bestimmten Legirungen dürfen nicht über 20 — 30 Proc. Gold und nicht über 10 Proc. Kupfer enthalten; sie werden fein zertheilt in Platin- oder Gußeisen-Kesseln in dem Verhältniß

von 4 Th. Schwefelsäure auf 3 Th. Silber so lange mit concentrirter Säure erhitzt, bis sich keine schweflige Säure mehr entwickelt, worauf dann durch kochendes Wasser das schwefelsaure Silberoxyd und Kupferoxyd vom Goldpulver getrennt wird. Das Goldpulver wird hiernach nochmals mit Schwefelsäure gekocht, und das Silber aus der Lösung durch Kupfer gefällt. Nach Pettenkofer*) kann das erhaltene Gold von den letzten Antheilen Silber ꝛc. durch Schmelzen mit schwefelsaurem Natron und Schwefelsäure und hierauf noch mit Salpeter fast vollständig befreit werden; es ergiebt sich dann ein Gold von 998 — 999 Tausendtel Feingehalt. Dieser Methode wird gegenwärtig vor allen übrigen der Vorzug gegeben, und dieselbe daher ziemlich allgemein angewendet. — 5) Scheidung durch Salpetersäure, Scheidung in die Quart, besteht in der Trennung des Silbers vom Golde durch Salpetersäure, welche zuerst kalt und verdünnt, dann heiß und concentrirt angewendet wird; die Legirung muß, wenn die Scheidung vollständig sein soll, auf 1 Th. Gold, wenigstens $2^1/_2$ — 3 Th. Silber enthalten. Das gereinigte Gold wird mit Borax und Salpeter geschmolzen. — 6) Durch Behandlung mit Königswasser wird eine Gold-Silberlegirung in unlösliches Chlorsilber und leicht lösliches Goldchlorid zerlegt. Aus der durch Abdampfen von der Säure befreiten Lösung fällt man das Gold durch Eisenvitriol oder Oxalsäure als braunes Pulver. Diese Methode ist zur Darstellung reinen Goldes im Kleinen ganz besonders geeignet.

Das Gold besitzt im reinen Zustande eine hochgelbe Farbe, in Pulverform ist es braun und matt, nimmt aber durch den Strich Metallglanz an; in einer wässerigen Flüssigkeit vertheilt läßt das feinpulvrige Gold das Licht mit blauer Farbe durchfallen, das Blattgold bald mit blauer, bald mit grüner Farbe. Die farbige Durchsichtigkeit scheint nach Ehrenberg**) erst einzutreten, wenn die Platte $^1/_{2000}$ Linie dick ist. Es ist weicher und von geringerem Zusammenhang, als Silber, nicht sehr elastisch und besitzt unter allen Metallen die größte Ductilität; es läßt sich zu Platten von $^1/_{282000}$ Zoll Dicke auswalzen (Blattgold), 1 Gran liefert eine Platte von 57 Quadratzoll Fläche und einen 500 Fuß langen Draht. Das specif. Gew. des geschmolzenen Goldes ist 19,2, des gehämmerten 19,3 bis 19,4; es schmilzt unter bedeutender Ausdehnung nach Pouillet bei 1200° C., nach Guyton-Morveau bei 1380° C., nach Daniell bei 1421° C., also schwieriger als Kupfer und Silber; im Flusse zeigt es eine blaugrüne Farbe. Nur in den höchsten Hitzegraden des Brennspiegels und im Knallgasgebläse ist es sehr wenig flüchtig. Es löst sich in keiner Säure, außer in Königswasser. Krystallisirt besitzt es Formen des regulären Systems.

Von allen Metallen besitzt das Gold die geringste Verwandtschaft zum Sauerstoff und kann daher durch das stärkste Glühen an der Luft nicht oxydirt werden. — Verbindungen mit Sauerstoff kennt man zwei: Goldoxydul und Goldoxyd = AuO und AuO_3; ein drittes Oxyd, die Goldsäure AuO_5 (?), von Figuier***) angenommen, ist nicht hinreichend bekannt. Goldoxydul, AuO, im trocknen Zustande ein dunkelgrünes (Berzelius) oder blauviolettes

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CIV. S. 118; CXI. S. 357.
**) Poggend. Ann. Bd. XXIV. S. 40.
***) Compt. rend. T. XVIII. p. 813.

(Figuier) Pulver, entsteht durch Zersetzen von Goldchlorür mittelst verdünnter Kalilösung oder Fällen von Goldchlorid mit salpetersaurem Quecksilberoxydul; dasselbe bildet nach Berzelius keine Salze und zersetzt sich äußerst leicht in Gold und Sauerstoff. Das Goldoxyd Au O_3 bildet im trocknen Zustande ein braunschwarzes Pulver oder eine braune Masse von muschlichem Bruch. Es entsteht bei Behandlung einer neutralen Lösung von Goldchlorid mit gebrannter Talkerde oder Zinkoxyd, mit welchen verbunden es sich niederschlägt, aber durch Salpetersäure von diesen getrennt werden kann. Versetzt man eine Goldchloridlösung mit Kali, bis der anfangs gebildete Niederschlag wieder gelöst ist, kocht dann einige Zeit und versetzt hierauf mit Schwefelsäure, so schlägt sich Goldoxyd nieder (Felmy). Das Oxyd zersetzt sich sehr leicht an der Luft oder in anfangender Rothglühhitze in Gold und Sauerstoff, eben so wird es durch viele Pflanzensäuren und andere Körper sehr leicht reducirt. Es verbindet sich mit Wasser zu dem kastanienbraunen Goldoxydhydrat, welches z. B. durch Behandeln der Goldoxydtalkerde mit verdünnter Salpetersäure erhalten wird: mit Ammoniak zu Goldoxydammoniak, Knallgold Aurum fulminans $N_2 H_5$, Au O_3. Dieses schlägt sich, wenn man eine neutrale Goldchloridlösung mit Ammoniak versetzt, als gelbbraunes Pulver nieder, welches beim Reiben, Stoßen oder Erhitzen oder Daraufleiten eines elektrischen Funkens mit heftigem Knall und schwachem Lichte zu Gold, Stickgas, Ammoniak und Wasser verpufft. Die Verwandtschaft des Goldoxyds zu Säuren ist sehr gering; nur mit überschüssiger concentrirter Salpeter- oder Schwefelsäure bildet es Lösungen, in denen es jedoch sehr lose gebunden ist und sehr leicht daraus zu Gold reducirt wird. Gegen Alkalien und einige Erden verhält es sich wie eine Säure. Unter vielen Umständen bewirken Goldlösungen rothe Färbungen, welche aller Wahrscheinlichkeit nach von einer zwischen dem Oxydul und Oxyd liegenden Oxydationsstufe hervorgerufen werden; so werden Haut, Papier &c. durch Goldchlorid roth gefärbt; Glasflüsse färben sich mit Goldoxyd oder Goldchlorid ebenfalls roth (Rubinglas). Ein sehr bekanntes, aber nach seiner Zusammensetzung noch sehr zweifelhaftes Präparat, ist der Cassius'sche Goldpurpur (seine Bereitung wurde 1685 von Cassius beschrieben), welcher sich bald als braunes, bald als schön violettes Pulver niederschlägt, wenn Goldchlorid mit verdünnten Lösungen von Zinnoxydulsalzen behandelt wird; derselbe enthält stets Zinnoxyd, in veränderlichen Mengen, so daß man ihn, angenommen, daß das Gold als Oxydul darin enthalten ist, als zinnsaures Goldoxydul betrachten kann; indeß halten ihn Manche für durch feinzertheiltes metallisches Gold gefärbtes Zinnoxyd. Man wendet ihn in der Porzellanmalerei, Glasfabrikation &c. zur Erzeugung eines schönen Roth an. — Schwefel giebt mit Gold zwei Verbindungen Au S und Au S_3, wovon die erstere durch Fällung einer siedenden, letztere durch Fällung einer kalten verdünnten Goldlösung mit Schwefelwasserstoffgas erhalten wird. In Chlorgas, wässerigem Chlor und in Königswasser verwandelt sich Gold in Goldchlorid, Au Cl_3. Nach dem Abdampfen der sauren Lösungen bildet dieses eine dunkel- oder braunrothe sehr zerfließliche Krystallmasse, die in Wasser mit gelber Farbe auflöslich ist. In Lösung sowohl, wie im trocknen Zustande wird es schon durchs Tageslicht zersetzt, jedoch nicht bei Gegenwart freier Salzsäure; die meisten Metalle und deren Oxydulsalze und viele organische Körper zersetzen sie unter Ausscheidung von Gold. Aus seiner Lösung in Aether wird es durch reducirende Körper sehr leicht ausgeschieden, so daß dieselbe zur Ver-

goldung von feinen Stahlarbeiten benutzt werden kann. Beim Erhitzen verwandelt sich Goldchlorid zunächst in Goldchlorür Au Cl, ein wenig beständiger Körper, beim Glühen zersetzt es sich aber fast vollständig. Es verbindet sich mit mehreren Chlormetallen, namentlich der Alkalien zu gut krystallisirbaren Doppelsalzen. Außer den genannten Verbindungen des Goldes giebt es noch Verbindungen mit Jod, Brom, Phosphor ꝛc.

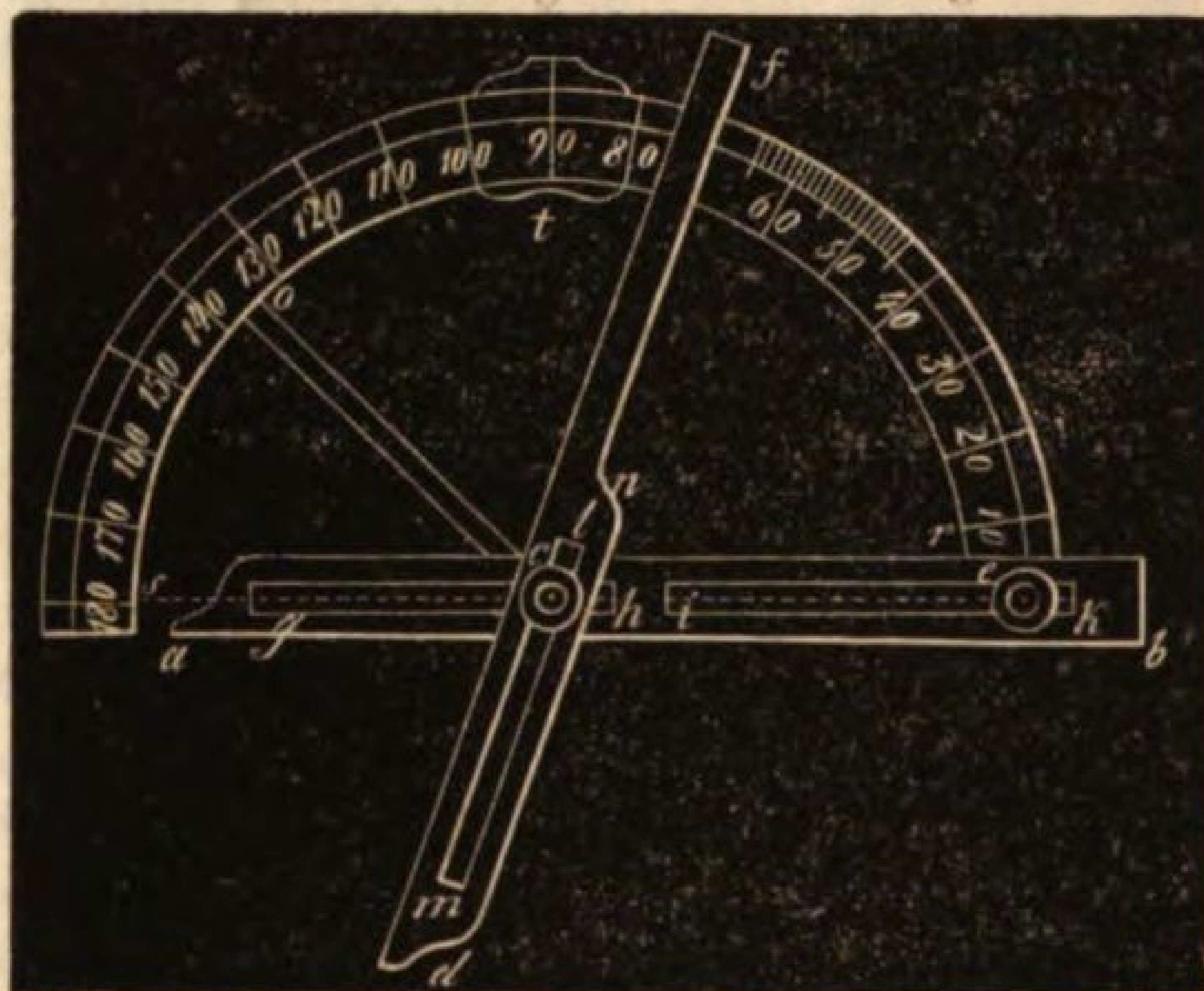
Das Gold läßt sich fast mit allen Metallen legiren, es wird jedoch nur von den Legirungen mit Kupfer und Silber ein ausgedehnter Gebrauch gemacht, welche wegen der charakteristischen Färbung, die sie besitzen, die rothe und die weiße Karatirung genannt werden. Man pflegt den Gehalt dieser Legirungen gewöhnlich annähernd durch Vergleichung ihres Strichs auf der Probirtafel, einer geschliffenen schwarzen Kieselschieferplatte, mit dem Strich der Probirnadeln zu bestimmen; diese sind Stäbchen von bekanntem Metallgehalt. Den Gehalt an reinem Golde giebt man in Karaten an; die Gewichtseinheit des verarbeiteten Goldes, die Mark = 16 Loth, theilt man in 24 Karat und das Karat in 12 Grän.

Bei der Analyse wird das Gold stets im metallischen Zustande bestimmt; man reducirt es aus seinen Lösungen, die stets angesäuert werden müssen, mit Eisenvitriol oder Oxalsäure oder salpetersaurem Quecksilberoxydul. Auf diese Weise kann es von den Alkalien und Erden, so wie von Zink, Eisen, Kobalt, Nickel, Mangan, Uran, Titan und Chrom vollständig geschieden werden. Auch durch Verwandlung des Goldes in Schwefelmetall mittelst Schwefelwasserstoff läßt sich die Trennung von diesen Körpern leicht ausführen. Bei Kupfer, Wismuth, Cadmium und kleinen Mengen von Blei kann die erste Methode ebenfalls angewendet werden; als Schwefelmetalle können sie jedoch nur durch Schwefelammonium, welches das gebildete Schwefelgold auflöst, getrennt werden. Die Trennung des Goldes von Antimon, Zinn, Arsen und Tellur ist schwieriger und kann am besten durch Chlorgas oder Abtreiben auf der Kapelle geschehen. H. Rt.

Goniometer, (γωνία), Winkelmesser, ein zur Messung der Kantenwinkel der Krystalle dienendes Instrument. Die natürlich vorkommenden Krystalle sind in der Regel nicht so vollkommen ausgebildet, daß sie ihrer rein geometrischen Gestalt gemäß alle Flächen, sowohl in der gehörigen Ausdehnung als auch in der abgemessenen Entfernung vom Mittelpunkte zeigten (vergl. Krystall, Krystallographie). Allein trotz aller vorkommenden Abweichungen von ihrer idealen Form, trotz der daraus hervorgehenden Schwankungen ihrer Lineardimensionen bleiben doch ihre Winkelverhältnisse, insbesondere also die Kantenwinkel der Krystalle unverändert dieselben, wie die rein krystallographische Figur oder das krystallographische Modell sie darstellt oder voraussetzt. Dadurch werden die Kantenwinkel das charakteristische Element der Krystallbestimmung und das eigentliche Object der Krystallmessung. Die zu diesem Zwecke erfundenen Instrumente werden nun vorzugsweise Goniometer genannt, und es giebt von denselben zweierlei Arten, Contactgoniometer und Reflexionsgoniometer.

Das von Carangeau angegebene Anlege-, Hand- oder Contactgoniometer ist nur bei etwas größeren Krystallen und für solche Winkel anwendbar, deren Kantenlinien entweder wirklich ausgebildet, oder höchstens durch sehr schmale Flächen abgestumpft oder zugeschärft sind. Es hat dasselbe im Wesent-

lichen folgende Einrichtung. Mit dem eingetheilten Halbkreise s t r sind zwei nach dem Mittelpunkte gehende Speichen c o, c k verbunden; an letzterer befinden sich zwei Zapfen c und k, an denen sich das in seiner Mittellinie aufgeschlitzte Lineal a b so verschieben läßt, daß seine beiden Kanten immer dem durch den Nullpunkt der Kreistheilung geführten Durchmesser e s parallel bleiben. Ein zweites Lineal d f, gleichfalls durch den Schlitz m l am Zapfen c verschiebbar, läßt sich um letzteren zugleich herumdrehen und ist nach dem Ende zu, mit welchem es auf dem Halbkreise aufliegt und bei seiner Drehung hinschleift, so zugeschärft, daß die Kante n f die Verlängerung der durch den Mittelpunkt des Zapfens c gehenden Mittellinie m l bildet.



Werden nun die zu einer Kante des Krystalls gehörigen Flächen zwischen die beiden Schenkel a c und c d und mit deren Kanten in genaue Berührung gebracht, wovon man sich zunächst durch das Gefühl, dann dadurch überzeugt, daß man nachsieht, ob zwischen den betreffenden Krystallflächen und den anliegenden Schenkeln des Goniometers Lichtstrahlen durchdringen; so giebt offenbar der am Gradbogen abzulesende Winkel f c k den gesuchten Flächen- oder Kantenwinkel an, vorausgesetzt, daß die Ebene der Schenkel a c und c d senkrecht auf die betreffende Kante aufgesetzt worden ist.

Wegen der häufig vorkommenden Kleinheit und Verwachsung der Krystalle müssen die Schenkel c a und c d verkürzt werden, wenn ein Anlegen derselben an die Krystallflächen möglich sein soll. Deshalb sind eben die beiden Anlegelineale zum Verschieben eingerichtet. Oft ist auch zum bequemen Anlegen der Theil t s des Gradbogens hinderlich, weshalb der Halbkreis bei t getheilt und mit einem Charnier versehen ist. Die Schiene c o ist bestimmt, für gewöhnlich den Bogen t s mit dem anderen t r in einerlei Ebene zu erhalten; wird aber c o nach c r hin zurückgeschlagen, so läßt sich auch der Quadrant t s nach t r hin zurücklegen.

Dieser Vorrichtungen ungeachtet dürfen doch die Flächen der Krystalle nicht zu klein sein, wenn das Contactgoniometer nicht den Dienst versagen soll. Dieser Umstand, so wie die ganze Einrichtung des Instruments überhaupt und insbesondere die, wie bemerkt, beim Messen mit demselben nothwendige Vorsicht die Ebene des Halbkreises senkrecht auf die Kante des Krystalls zu stellen — alles dieses bedingt nur einen beschränkten Gebrauch des Instruments und eine geringe Genauigkeit der Messung, die höchstens bis auf Viertelgrade gesteigert werden kann.

Ein Gleiches gilt von dem von Majocchi angegebenen Contactgoniometer, das sich von dem vorhergehenden wesentlich nur dadurch unterscheidet, daß an die Schenkel c k und c f noch zwei andere in ihren Mittellinien aufgeschlitzte und durch

einen gemeinschaftlichen verschiebbaren Zapfen verbundene Lineale angebracht sind, welche mit ersteren einen Rhombus bilden und mit denen die Flächen der zu messenden Krystallkante in Contact gebracht werden. Während bei jenem Goniometer von Carangeau die Krystallkante in den Scheitelwinkel von f c k gelegt wird, wird sie bei diesem von Majocchi angegebenen in den gegenüberliegenden Winkel des erwähnten Rhombus oder auch in dessen Scheitelwinkel gebracht. Diese Einrichtung gewährt keine größere Genauigkeit der Messung, macht dieselbe vielmehr durch die Excentricität zweier und mehrerer Zapfen, statt eines einzigen c, etwas unsicherer.

Weit vorzüglicher sind die Reflexionsgoniometer sowohl wegen ihrer größeren Genauigkeit, als auch wegen ihrer allgemeineren Brauchbarkeit, da auch kleine Krystalle oder Fragmente derselben sich damit messen lassen. Am einfachsten und für die bei weitem meisten Fälle hinreichend ist das von Wollaston angegebene Goniometer. Die Haupttheile desselben sind der eingetheilte Kreis M Fig. I., und der Krystallträger a a'. Der verticale Kreis M hat einen etwas breiten Rand, auf welchem zur leichteren Ablesung die Eintheilung angebracht ist. Diese geht in der Regel bis auf halbe Grade und wird durch einen an der Seite angelegten Nonius V bis auf einzelne Minuten gebracht. Die Zählung der Kreistheilung geht zweimal von 0 bis 180° in demselben Sinne. Die horizontale Axe A A' des Kreises M ist durch ein verticales Gestell oder einen Bock P geführt und am Ende mit einer am Rande gekörnten Scheibe A versehen, vermittelst welcher man jede Drehung des Kreises M vornehmen kann. An dem einen Schenkel des Bockes ist vermittelst einer Schiene der Nonius V befestigt, und am anderen Schenkel, dem Nonius ziemlich diametral gegenüber, eine Feder, welche an den ersteren Schenkel sich anlegt und den Kreis M bei seiner Drehung nach der einen Richtung arretirt, sobald die Theilpunkte 0 und 180 desselben mit dem Nullpunkte des Nonius zusammenfallen, dagegen nachgiebt und bezüglich überspringt, wenn der Kreis nach der anderen Richtung gedreht wird und die genannten Theilpunkte an dem Nullpunkte des Nonius vorübergehen. Das durch das Ueberspringen der Feder verursachte Geräusch giebt beim Messen zugleich den Uebergang aus dem einen Halbkreise in den anderen an. Die Axe A A' des Kreises ist ihrer Länge nach durchbohrt und mit der Axe a a' des Krystallträgers ausgefüllt, die sich in ihr mittelst des an dem einen Ende angebrachten Knopfes a mit einiger Reibung drehen läßt. Am anderen Ende a' befindet sich der eigentliche Krystallträger, dessen Einrichtung aus Fig. II. näher abzunehmen ist. Es besteht derselbe aus zwei Bogenstücken a' c und c b, welche bei c durch einen auf der Axe a a' senkrecht stehenden Zapfen verbunden sind, und aus einem durch das zweite Bogenstück in einer Hülse geführten Stift t o, der durch den Knopf t in letzterer mit einiger Reibung verschoben und gedreht werden kann. Das andere Ende o des Stiftes endigt in einen kleinen Knopf, an welchem mit etwas Wachs der zu messende Krystall so befestigt wird, daß die Kante des betreffenden Flächenwinkels in die Richtung der Umdrehungsaxe a a' fällt, oder derselben parallel ist. Um sich dessen zu gewissern, so wie behufs der Messung

I.

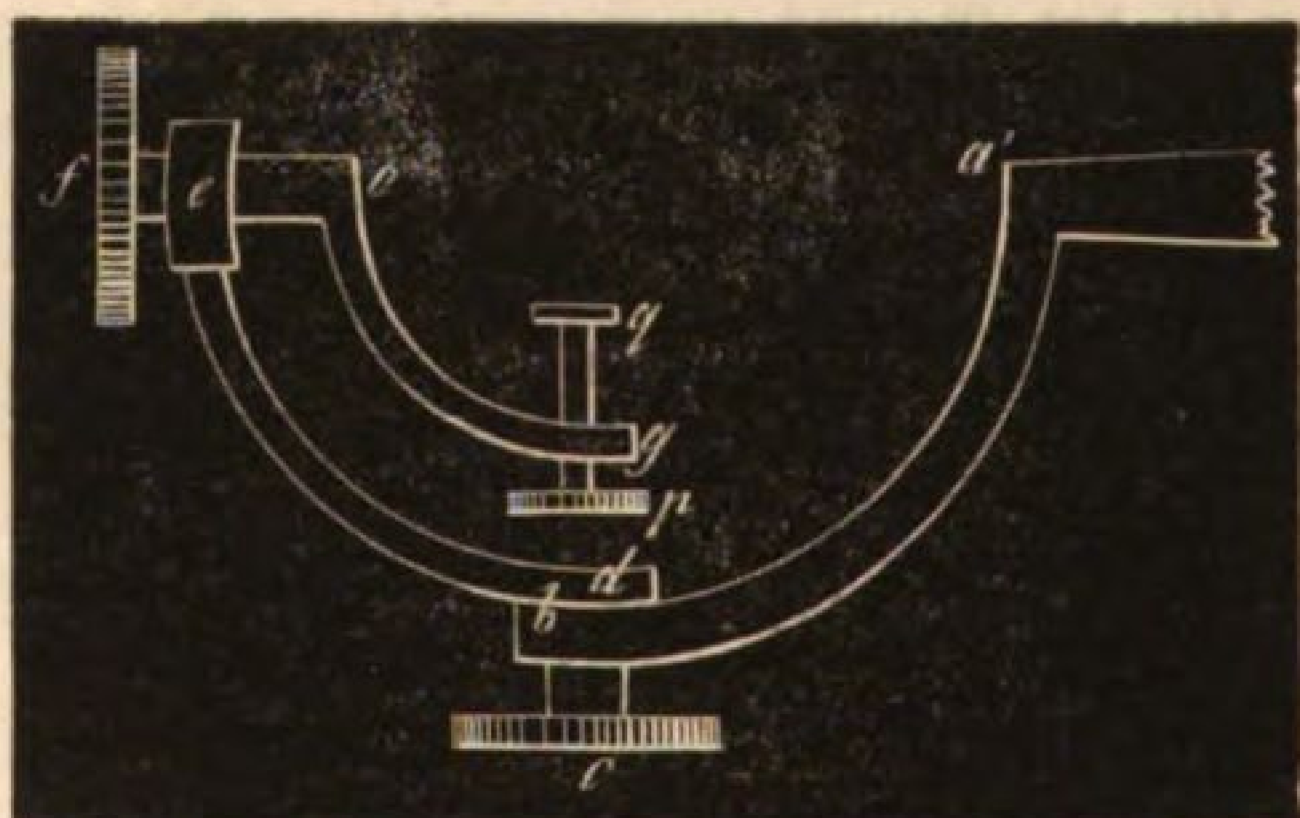


II.



überhaupt stellt man das Instrument auf einem festen Tische einem Fenster gegenüber auf und wählt zum Merkmale bei dem ganzen folgenden Verfahren einen Gegenstand, der senkrechte und horizontale Parallelen dem Auge darbietet, z. B. ein Haus, oder die Rahmen des Fensters selbst, wenn das Beobachtungszimmer geräumig genug ist, so daß man sich mit dem Instrument etwa 8 bis 10 Ellen vom Fenster entfernt aufstellen kann. Man richtet dann das Instrument so, daß die Ebene des eingetheilten Kreises senkrecht auf den horizontalen Linien des gewählten Merkmals steht, was mittelst kleiner Keile, die unter das Fußgestelle des Instruments geschoben werden, oder noch besser durch drei ins Fußgestelle eingelassene Stellschrauben bewerkstelligt werden kann. Hierauf bringt man das Auge dicht vor den Krystall und, indem man das Bild des Gebäudes oder des Fensters in einer der Krystallflächen des zu messenden Neigungswinkels aufsucht, dreht zugleich die Axe a a' so, daß das reflectirte Bild einer der genannten oberen Horizontalen mit einer der unteren direct gesehenen zusammen fällt. Findet dieses Zusammentreffen, oder Decken ohne Kreuzung des reflectirten und direct gesehenen Bildes auch noch statt, wenn man den Krystall durch Drehung des Knopfes a so gewendet hat, daß die zweite Fläche, welche den Neigungswinkel bildet, zur reflectirenden Ebene geworden ist, so ist die betreffende Kante, wie recht, der Axe a a' parallel; im entgegengesetzten Falle muß die Lage des Krystalls durch Drehung des Armes c b und des Knopfes t so lange verändert werden, bis diese Coincidenz sich zeigt. Erst hiernach kann zur Messung des Kantenwinkels geschritten werden.

Eine nicht unwesentliche, die richtige Einstellung des Krystalls fördernde und sichernde Abänderung am Krystallträger hat Naumann *) angegeben. Beistehende Figur giebt eine Vorstellung dieses verbesserten Krystallträgers: ab und de sind dieselben zwei Bügel oder Viertelkreise, welche wie oben, durch einen auf der Axe a a' senkrecht stehenden Zapfen c d mit einander verbunden sind. Der zweite



Bügel hat am Ende e eine Durchbohrung, durch welche ein Zapfen fo geht, dem sich wieder der Bügel og anschließt. Letzterer endlich trägt an seinem Ende g die kleine Axe pq, an deren Ende q der Krystall mit Wachs befestigt wird. Die Axen oder Zapfen cd, fo, pq sind mit gekörnten Tellern oder Knöpfen versehen, um sie leicht umdrehen zu können, und nothwendig ist, daß, wenn die drei Bügel in einer Ebene liegen, fo parallel und pq mit cd senkrecht zu der Axe aa' stehen. Um nun den Krystall richtig einzustellen, d. h. die zu messende Kante der Axe a a' des Kreises parallel zu machen und wo möglich mit derselben zusammenfallen zu lassen, befestigt man den Krystall auf der kleinen

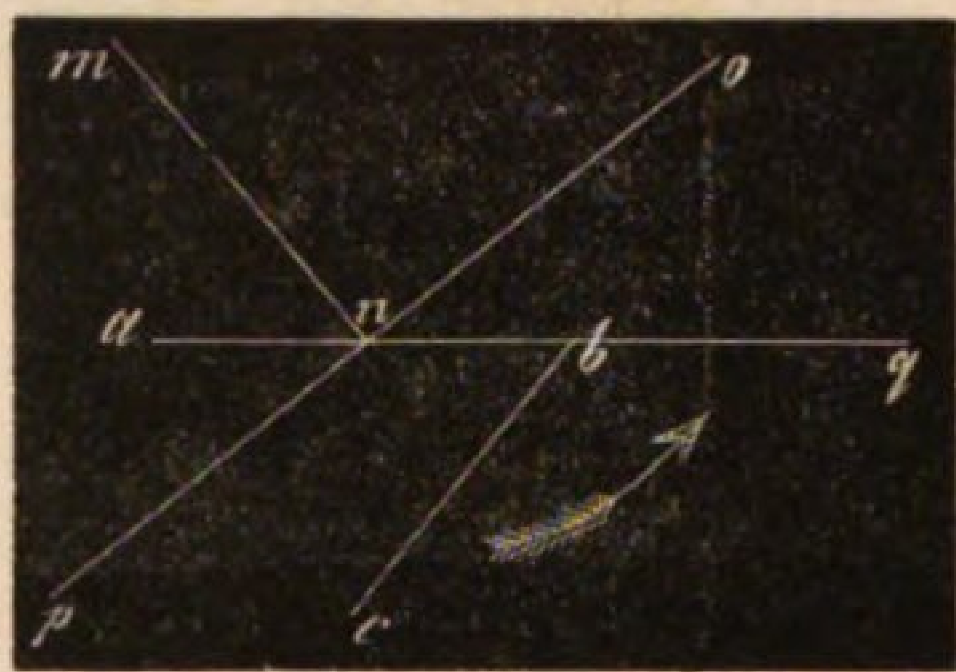
---

*) S. dessen „Lehrbuch der reinen und angewandten Krystallographie" oder dessen „Anfangsgründe der Krystallographie" S. 32.

Scheibe q dergestalt, daß beide Flächen der zu messenden Kante nach oben zu liegen kommen. Nachdem man die dritte Axe f o mit der ersten a a′ parallel gerichtet hat, stellt man sich vor das Instrument so, daß die rechte Hand an der Scheibe a (Fig. I. S. 633) der ersten Axe a a′ und die linke Hand an der vierten Axe p q drehen kann, während das rechte Auge nahe über dem Krystalle sich befindet. Durch zweckmäßige Drehung der beiden genannten Axen wird das Auge bald das von der einen Krystallfläche reflectirte Bild des zum Merkmal gewählten Hauses oder Fensters erblicken: so wie man dasselbe gesehen, dreht man nur noch p q so lange, bis alle verticalen und horizontalen Linien des Merkmals auch wirklich vertical und horizontal erscheinen. Die reflectirende Krystallfläche ist dann der Axe a a′ und damit auch f o parallel, folglich auch eine Linie dieser Fläche auf der zweiten Axe c d senkrecht. Wie man daher auch die Bügel d e und o g resp. um die Zapfen c d und f o drehen mag, immer bleibt die erwähnte Krystallfläche der Axe f o parallel und eine Linie in der Fläche zur zweiten Axe c d normal. Hierauf drehe man den Bügel d e um die zweite Axe c d aus der Ebene des ersten Bügels um einen bedeutenden Winkel (etwa 60°) heraus, so daß für das Auge das Bild des gewählten Merkmals verschwindet und drehe dann den dritten Bügel o g um die dritte Axe f o so weit, bis dieses Bild in derselben Krystallfläche in derselben Weise wieder erscheint. Man hat dadurch die Krystallfläche der Axe a a′ abermals parallel, und somit eine zweite Linie der Fläche auf der zweiten Axe c d normal gestellt. Es sind folglich zwei Linien der Krystallfläche, oder diese Fläche selbst ist auf der Axe c d normal, und diese Lage wird bei allen Drehungen der Axen a a′ und c d unverändert dieselbe bleiben. Sucht man nun auch auf der zweiten Krystallfläche das Bild des gewählten Merkmals und bringt es bezüglich der horizontalen und verticalen Linien in die gehörige Lage, indem man nur die beiden letztgenannten Axen auf geeignete Weise bewegt, so ist auch die zweite Krystallfläche und damit die Kante beider Flächen der Axe a a′ parallel und man kann zur eigentlichen Messung des Kantenwinkels schreiten.

Zu dem Ende stellt man den Kreis so ein, daß sein Nullpunkt mit dem des Nonius zusammenfällt und dreht die Axe a a′ unter gleichzeitiger entsprechender Bewegung des dicht vor dem Krystall befindlichen Auges so lange, bis auf der vom Beobachter entfernter liegenden Krystallfläche das Bild einer der oberen Horizontallinien des gewählten Merkmals mit dem direct gesehenen Bilde einer der unteren Horizontalen zusammenfällt. Indem man das Auge in dieser Stellung läßt, dreht man dann den Kreis um seine Axe mittelst der gekörnten Scheibe A′ unter Vermeidung jeder Verrückung der inneren Axe a a′, bis das Bild derselben oberen Horizontalen auf der zweiten Krystallfläche erscheint und mit derselben unteren Horizontalen zur Deckung kommt. Der Nullpunkt des Nonius giebt dann unmittelbar die Grade und Minuten des betreffenden Kantenwinkels an, vorausgesetzt, daß die Zahl der Grade am eingetheilten Kreisrande in derselben Richtung zunehme, in welcher die Drehung des Kreises stattfindet. Unter dieser Voraussetzung giebt nämlich die Zahl der Grade und Minuten, welche vom Nullpunkt des Nonius abgeschnitten werden, das Supplement (zu 180°) von demjenigen Winkel an, um welchen der Kreis gedreht worden ist, und dieses Supplement ist katoptrischen Gesetzen gemäß auch der Neigungswinkel der beiden Krystallflächen, in deren Reflex man nach einander die Bilder derselben oberen Horizontalen gesehen hat. Letzteres ergiebt sich leicht aus folgenden Betrachtungen.

Sei a b c in beistehender Figur der zu messende Kantenwinkel, welchen die Krystallflächen a b und b c mit einander bilden. Auf erstere falle der Strahl m n, der unter gleichem Einfalls- und Reflexionswinkel nach n o reflectirt und mit einem directen Strahle p n o zugleich in das Auge bei o gelangt, so daß sich in letzterem die Bilder von m und p zu decken scheinen.



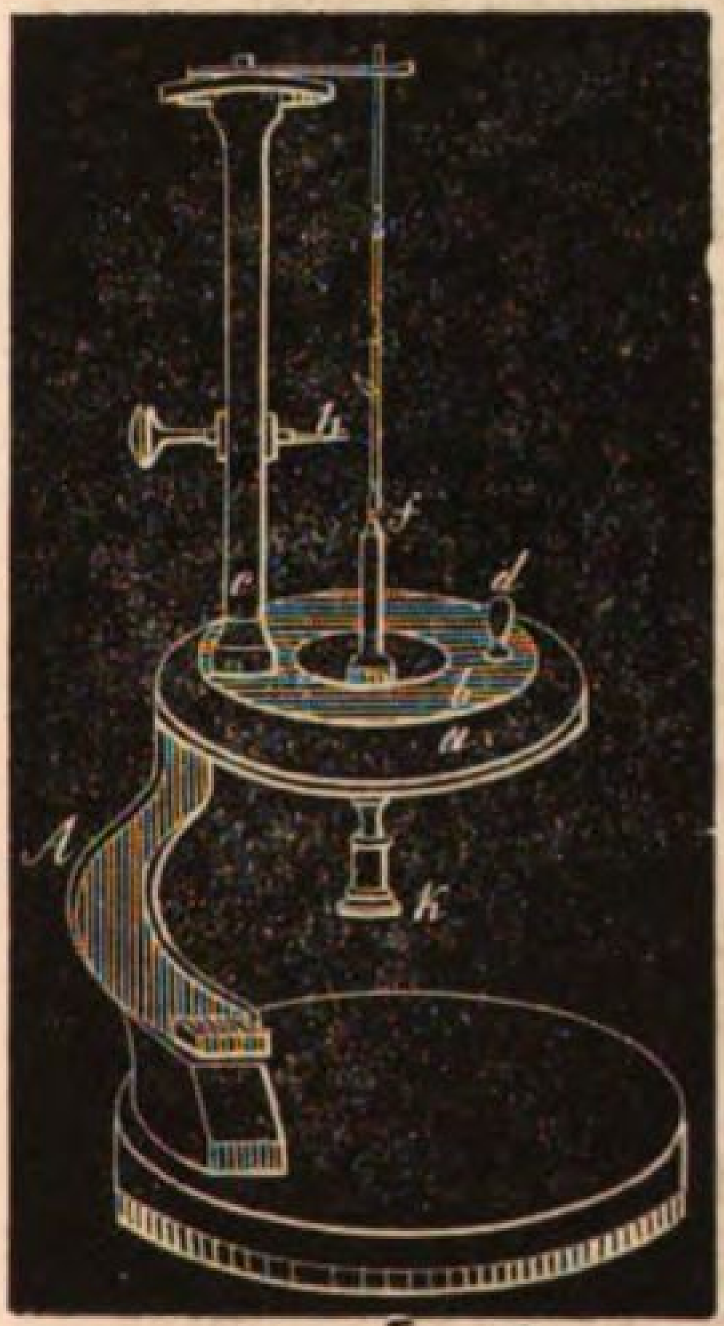
Wird hierauf a b c in der Richtung des Pfeiles so weit gedreht, bis die zweite Krystallfläche b c eben so ein Zusammenfallen der Bilder m und p im Auge bei o hervorbringt, so kann dies nur eintreten, wenn b c dieselbe oder parallele Lage, wie a b vorher hatte, eingenommen hat, oder in die Richtung b q gelangt ist. Der Winkel c b q nun, um welchen die Drehung der b c aus ihrer ersten Lage in die letztere b q stattgefunden hat, ist das Supplement zum Kantenwinkel a b c. Bedingung hierbei ist, daß das Bild von m auf beiden Krystallflächen unter demselben Einfallswinkel reflectirt wird, wovon man sich bei unverrückter Stellung des Auges durch das jedesmalige Zusammenfallen des directen und reflectirten Bildes überzeugt. In aller Strenge findet dies nun bei einer derartigen Einrichtung des Instruments nicht statt, einmal weil die zu messende Kante der Umdrehungsaxe des Kreises zwar parallel, aber nicht für gewöhnlich mit derselben zusammenfallend eingestellt (zwar justirt, aber nicht centrirt) werden kann, dann weil beide Krystallflächen hinter einander nicht dieselbe, sondern im Allgemeinen nur parallele Lagen einnehmen und hauptsächlich, weil das freie Auge und dessen Pupille kein genaues Diopter abzugeben im Stande ist. Der Einfluß dieser Ungenauigkeiten bleibt indessen bei den gewöhnlichen bis auf 1 Minute gehenden Messungen der Kantenwinkel unterhalb der Grenzen der Beobachtung. Da aber letztere hinreichend scharf sind zur gewöhnlichen Krystallmessung, so ist auch das Wollaston'sche Goniometer das gebräuchlichste. — Sollen zum Behufe feinerer physikalischer Untersuchungen die Kantenwinkel genauer gemessen werden, so muß die Visirlinie durch ein kleines Fernrohr mit Fadenkreuz fixirt werden. Derartige Vorrichtungen, wie sie von Malus, Mitscherlich und Babinet in Vorschlag und zur Ausführung gebracht worden sind, machen allerdings das Instrument zu einem complicirteren und vertheuern es auch einigermaßen. Beim Goniometer von Mitscherlich kann die Axe des Theilkreises, dessen Stellung übrigens wie bei dem Wollaston'schen vertical ist, und eben so auch die Axe des Krystallträgers durch besondere Klemm- und Mikrometerschrauben festgehalten und bewegt werden; die Ablesung der Gradtheilung geschieht vermittelst einer über dem Nonius stehenden Loupe; der Krystall wird auf seinem Träger centrirt mittelst zweier auf einander und zugleich auf der Axe des Theilkreises senkrecht stehender Schlitten, deren Bewegung durch Schrauben regulirt wird, und dann justirt durch eine nußartige Vorrichtung, deren Stellung gleichfalls durch zwei auf einander senkrecht stehende Schrauben vermittelt ist. Die von beiden Flächen der zu messenden Kante reflectirten Bilder eines Objects werden durch ein mit Fadenkreuz versehenes kleines (astronomisches) Fernrohr, dessen horizontale Umdrehungsaxe der Axe des Theilkreises und des Krystallträgers parallel ist, beobachtet. Bedingung der Anwendbarkeit dieses Instruments ist, daß die Krystallflächen sehr glatt sind, oder gut reflectiren.

Beim Goniometer von Babinet ist das Object, dessen Bild man von den beiden Krystallflächen nach einander reflectiren läßt, am Theilkreise selbst angebracht in Gestalt eines rechtwinkligen Fadenkreuzes, das hinter einer Sammellinse in deren Brennpunkte angebracht ist. Die Strahlen, welche von diesem Kreuz ausgehen, laufen nach dem Durchgange durch die Linse parallel fort, gleich als ob sie von einem sehr entfernten Gegenstande kämen; die Visirlinie wird ebenfalls durch ein Fernrohr mit Fadenkreuz fixirt. Das Instrument, dessen Theilkreis in der Regel horizontal steht, ist vorzüglich geeignet zur Winkelmessung an säulenförmigen oder prismatischen Krystallen, die schon eine ansehnliche Größe haben; auch kann mit Hülfe desselben zugleich der Brechungswinkel bei durchsichtigen Krystallen bestimmt werden. Aehnlich beschaffen sind die Goniometer von Gambey und Charles *).

Ein neues Reflexionsgoniometer, nach Art des Wollaston'schen hat Wallmark **) construirt, und Matthiesen ***) ein Instrument, das sich sowohl als Contact-, als auch als Reflexionsgoniometer gebrauchen läßt.

Goldmann ****) hat ein sogenanntes Divergenz-Goniometer angegeben, das zur Messung der seitlichen und verticalen Abweichung je zweier Blatt- oder Blüthenansatzstellen von Pflanzen benutzt werden kann.

Eine Metallscheibe a mit einem genauen Theilkreise ruht auf einem Ständer A. In der ausgehöhlten Axe der Scheibe a liegt eine zweite b, welche mittelst vorspringender Kante auf der ersten ruht, eine der Länge nach gespaltene, auf ihr senkrecht stehende Säule c trägt, und mittelst des Knopfes d gedreht werden kann. Durch die ausgehöhlten Axen beider Scheiben geht eine Hülse und durch diese ein Stab, der in eine Spitze f ausläuft und an seinem unteren Ende mittelst eines gereiften Schraubenkopfes k auf und abwärts zu schieben und zu drehen ist. Auf die Spitze f wird ein gerader Zweig, in welchem durch einen mit seiner Axe parallelen Schnitt die Blätter und Axillarknospen fortgenommen sind, vertical aufgesetzt, so daß er mit der Säule c parallel steht. Der Stab wird dann in seiner Hülse so weit gehoben und gedreht, bis das durch die Spalte der Säule c gehende Visir h auf das Mark einer abgenommenen Axillarknospe zeigt. Darauf wird die innere Scheibe b um ihre Axe so weit gedreht, bis das in der Spalte der Säule c emporgeschobene Visir h genau auf das Mark der nächstfolgenden Knospe zeigt. Die Grade, um welche die innere Scheibe gedreht werden muß, damit das Gesagte eintritt, geben den Divergenzwinkel oder horizontalen Abstand von zwei auf einander folgenden Blättern und Axillarknospen. Wl.



*) Vergl. Becquerel, Traité de Physique etc. T. I. p. 268.
**) Oefvers af K. Vetensk. Acad. Förhandl. T. IV. p. 162.
***) Compt. rend. T. XXIV. p. 781.
****) Poggend. Ann. Bd. LXXV. S. 517 ff.

Granit, s. Berg Bd. I. S. 782.
Graphit, s. Kohlenstoff.
Graupel, s. Hagel.
Gravimeter, s. Aräometer.
Gravitation, s. Schwere.
Grundeis, s. Eis.
Grundlage, s. Basen.
Grundstoffe, s. Einfache Stoffe.
Gußeisen, s. Eisen.

Gutta Percha, auch zuweilen Pertscha geschrieben, oder Getah-Pertja, auf Java Gettenia genannt, ein eingetrockneter Milchsaft, in vieler Beziehung dem Kautschuk ähnlich und daher in neuester Zeit vielfach als Stellvertreter desselben in Anwendung gekommen, wird von den Eingebornen Gutta Taban genannt, während die eigentliche Gutta Percha, von einem noch unbekannten Baume, wahrscheinlich einer Ficus stammend, eine geringere Sorte ist. Die vortrefflichen Eigenschaften dieser Substanz waren den Eingebornen schon lange bekannt; auf Java benutzte man sie zu Stöcken und Peitschen und die Malayen verwendeten sie zu Handhaben bei ihren Werkzeugen. Montgomery sah einen Stiel an einer Hacke und hörte von einem Malayen, daß die Substanz beim Eintauchen in heißes Wasser erweiche und dann jede beliebige Form annehme. In Folge dessen sendete Montgomery 1843 Proben nach London, die jetzt mehr Beachtung fanden, als die, welche schon früher durch d'Almerida an die asiatische Gesellschaft in London gelangt waren. Die Mutterpflanze war unbekannt, bis Oxley aus Singapore, dem Hauptausfuhrorte für die Putta Percha, blühende Exemplare an Hooker schickte. Diese waren in einer aus Gutta Percha angefertigten Büchse eingeschlossen und kamen wohl erhalten an. Hooker erkannte, daß die Pflanze zu der von Wright neuerdings aufgestellten Gattung Isonandra — Familie der Sapotaceen — gehöre und nannte sie I. Gutta *).

Der Baum erreicht eine Höhe von 40 Fuß, nach Anderen sogar bis zu 60 und 70 Fuß. Der Stamm ist gerade und hat oft drei bis sechs Fuß im Durchmesser; die Blüthen, zu vieren zusammenstehend, sind klein und weiß; die süße Frucht liefert ein holziges, zu Speisen brauchbares Fett. Das Holz dagegen ist weich, faserig und schwammig; es enthält zahlreiche Längs-Höhlungen, die eben mit dem Milchsaft angefüllt sind und dadurch braune Streifen bilden. Die Gewinnung der Gutta Percha ist eine sehr rohe; man haut nämlich die 50 bis 100 jährigen Bäume um, schält die Rinde ab und sammelt den Milchsaft in einem aus dem Stamme des Pisangs bereiteten Troge, in Cocusnußschalen, Palmenscheiben oder Pisangblättern. Der Saft wird an der Luft sehr bald fest; die größeren Mengen werden jedoch durch Wärme eingedickt. Die Ausbeute soll für den Baum nicht mehr als bis zu 30 Pfund betragen. Obschon der Baum auf einem ausgedehnten Gebiete — auf der Insel Singapore, in den Wäldern von Johore am Ende der malayischen Halbinsel, auf Borneo, Sumatra, überhaupt auf den zahlreichen Inseln der Straße von Singapore und des indischen Archipels in großer Menge auftritt, gab bei der schnell steigenden Ausfuhr — 1844 nur 169 Picul (1 Picul

*) Pharm. Journ. and Transact. Vol. VII. No. IV. p. 180.

= 61,513 Kilogramm), in den nächsten $3^1/_2$ Jahren aber bereits 21,429 Picul: — die Vernichtung der Bäume (im Ganzen 270,000) zu Befürchtungen Anlaß, so daß man von England aus dringend empfahl schonender zu Werke zu gehen und die Bäume nur zu verletzen. Auf diese Mahnung scheint man nicht gehört zu haben, denn Seemann berichtet *), daß er selbst um Singapore herum keinen Baum mehr gesehen habe, und auch auf den Küsten des indischen Archipels bereits tüchtig aufgeräumt sei. In der That scheint auch die Ausfuhr zu sinken, denn während 1846 9296 Picul verschifft wurden, gelangten in den folgenden anderthalb Jahren nur 6768 Picul zur Ausfuhr. In den folgenden Jahren hat sich jedoch die Ausfuhr wieder gehoben, wenigstens überstieg 1850 die Einfuhr an Gutta Percha in Liverpool die des vorhergehenden Jahres — 200 Tonnen — um 80 Tonnen.

Die Gutta Percha kommt in den Handel theils im flüssigen Zustande, theils in kleinen Schnitzeln oder auch zusammengeknetet in festen Blöcken und Rollen, an deren Durchschnitten sich die einzelnen Schichten deutlich erkennen lassen, durch deren Vereinigung die ganze Masse gebildet ist. Sie ist dann fest und hart, nimmt jedoch leicht durch den Nagel Eindrücke an. Die Farbe ist mehr oder weniger röthlich-braun; sie rührt jedoch nur von Rindenstückchen her, die in der Masse enthalten sind. Außerdem enthält letztere jedoch auch noch andere Substanzen, — Pflanzentheile mancherlei Art, Sägespäne, Erde 2c. — in betrügerischer Absicht beigemengt und zwar mitunter bis zu einem Viertel des Ganzen. Deshalb muß die Gutta Percha zuerst einem Reinigungsproceß unterworfen werden, theils auf mechanischem Wege, theils auf chemischem. Auf verschiedene Weise werden die größeren Massen zerkleinert und mit heißem Wasser, dem oft verschiedene Substanzen — Soda, Chlorkalk — zugesetzt sind, um das Auflösen der Beimengungen zu befördern, bearbeitet, gewalzt oder geknetet. Durch diese Bearbeitung wird die Bildungsfähigkeit und Festigkeit der Masse bedeutend erhöht. Der, welcher sich dafür interessirt, findet die verschiedenen Methoden und Maschinen, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, genau in Dingler's polytechnischem Journal beschrieben **).

Der Farbestoff wird zum großen Theil durch das Kneten entfernt, so daß die gereinigte Gutta Percha eine blaßgelbe, mehr oder weniger helle, beinahe schmutzigweiße, auch bräunlich-rothe Farbe besitzt. In dickeren Lagen ist die Gutta-Percha vollkommen undurchsichtig, in dünnen Blättchen jedoch durchscheinend wie Horn. Sie ist fettig anzufühlen und hat eigentlich keinen oder nur einen geringen Geruch. Oft ist der letztere jedoch stark — nach faulem Käse oder sauer — und rührt dann von beigemengten Substanzen her, die in Gährung übergegangen sind. Das Gefüge ist seidenartig, faserig; besonders kann dies wahrgenommen werden, wenn die Masse aus einander gezogen wird. Bei gewöhnlicher Temperatur — von 0° C. bis 25° C. — ist sie hart, lederartig, dabei doch fest und dauerhaft, so daß sie zu vielen Zwecken dem Holz oder Horn vorgezogen wird; ferner zähe, sehr steif und wenig elastisch, so daß sie nach starkem Biegen nicht wieder ganz die

---

*) Pharm. Journ. and Transact. Vol. XI. p. 575.

**) Brooman, Bd. C. S. 480. — Hancock, Bd. CII. S. 365. Bd. CVII. S. 25. Bd. CX. S. 340. — Parkes, Bd. CIV. S. 457. — Forster, Bd. CIX. S. 122. — Lorencier, Bd. CXI. S. 414. — Payen, Bd. CXX. S. 117.

ursprüngliche Form annimmt. Bei keiner Temperatur besitzt sie die elastische Dehnbarkeit des Kautschuk; zieht man stark aus, so biegt sie sich bleibend. Sie leistet einen großen Widerstand; über ihre Festigkeit sind vielfache Versuche angestellt. Nach Macbayan wurde ein kaum 1/8 Zoll dickes Stück erst bei einer Belastung von 50 Pfd. zerrissen. Nach Payen *) verlängerte sich ein sehr dünnes Gutta Percha-Band von 20 Centim. Länge, 3,6 Centim. Breite und 0,03 Millim. Dicke beim Anhängen von Gewichten, die nach und nach, jedesmal um 10 Gramm vermehrt wurden, bei einer Belastung von 1098 Grm. auf 43 Centim. Als das Gewicht auf 2098 Grm. vermehrt worden war, trat eine noch halb so große Verlängerung — bis zu 65 Centim., ein. Das Zerreißen fand statt bei einem Gewichte von 2128 Grm., nachdem vorher noch zweimal eine Verlängerung um 1 Centim. eingetreten war. Die Zusammenziehung betrug 4,5 Centim. Die Temperatur der Luft war bei diesen Versuchen + 19° C. Auch von Feistmantel sind viele Versuche über die absolute Festigkeit der Gutta Percha angestellt **). Er hat gefunden, daß jede Quadratlinie des Durchschnittes eines Riemens aus Gutta Percha mit 25 Pfd. belastet werden mußte, bevor er riß. Dies beträgt auf den Quadratzoll 3744 Pfd. Die Grenze, wo die Elasticität noch nicht in Anspruch genommen wird, fällt nach diesen Versuchen auf 5 Pfund per Quadratlinie oder 720 Pfund auf den Quadratzoll. — Wird die Gutta Percha erweicht, so kann sie sehr leicht zerrissen werden.

Das specifische Gewicht (0,9791) ist größer als das des Kautschuk. Die Eigenschaft der Gutta Percha auf dem Wasser zu schwimmen, beruht auf dem Vorhandensein zahlreicher kleiner Poren im Innern der Masse. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur die Gutta Percha-Masse unter starkem Druck auszuziehen, das erhaltene Band sogleich in kleine Stücke zu zerschneiden und diese in Wasser zu tauchen; die Mehrzahl sinkt dann zu Boden, theils sogleich, theils nachdem sie eine gewisse Menge Wasser eingesogen haben. Dasselbe Resultat erhält man auch, wenn man sehr dünne Blätter von gereinigter Gutta Percha einen Monat lang in luftfreiem Wasser eingetaucht erhält; ihre Poren füllen sich hierbei allmälig mit Wasser, werden dadurch schwerer als Wasser und sinken zu Boden. Uebrigens ist die Gutta Percha um so schwerer, je längere Zeit sie der Luft ausgesetzt war, besonders in dünnen Blättern. — Von der Neigung der Gutta Percha eine poröse Structur anzunehmen, kann man sich leicht überzeugen, wenn man einen Tropfen einer Lösung derselben in Schwefelkohlenstoffe auf einer Glasplatte freiwillig verdunsten läßt. Das weißliche Häutchen, welches dabei zurückbleibt, zeigt sich unter dem Mikroskop mit zahlreichen Poren durchzogen, die noch sichtbarer werden und sich vergrößern, wenn man einen Tropfen Wasser hinzu bringt.

Die merkwürdigste Eigenthümlichkeit dieser Substanz, weshalb sie auch so vielfache Anwendung gestattet, ist ihr Verhalten gegen die Wärme. Ueber 40° R. wird sie biegsamer, etwas elastisch, behält aber immer ihre Härte und merkwürdige Widerstandskraft bei; wenn sie mit Anstrengung ausgedehnt wird, zieht sie sich nur wenig wieder zusammen. Bei 52 bis 56° R. wird diese Substanz weich und sehr plastisch, verliert sehr an Zähigkeit. In diesem Zustande können mehrere

*) Compt. rend. T. XXXV. p. 109.
**) Polytechnisches Centralblatt. 1848. S. 437.

Stücke derselben sehr leicht so mit einander vereinigt werden, daß sie nur einen Körper bilden. Bloßes Eintauchen in heißes Wasser genügt, um der Masse eine jede beliebige Form zu geben, welche sie auch nach dem Erkalten, wo sie die frühere Härte wieder annimmt, bei jeder Temperatur unter 36° R. beibehält. — Wird die Gutta Percha eine Zeitlang einer Temperatur von 120° R. ausgesetzt, so giebt sie eine kleine Menge Wasser aus und verliert das weiße Aussehen, eine dunkelgraue, durchscheinende Farbe annehmend. Wenn man sie dann kurze Zeit in warmem, oder sogar auch in kaltem Wasser läßt, erhält sie ihr früheres Aussehen wieder. — Sie ist ferner sehr entzündlich; sie brennt mit glänzender Flamme unter Funkensprühen und läßt einen dunkeln Rückstand abtropfen. In einem Platintiegel erhitzt, schmilzt sie in Form eines Schaumes und brennt mit glänzender, rußender Flamme. Wird ein auf diese Weise halb verbranntes Stück ausgelöscht, so findet man den Rückstand verändert und in eine klebrige Flüssigkeit verwandelt.

Die gewöhnlichen Lösungsmittel haben wenig oder gar keine Wirkung auf die Gutta Percha, wie sie im Handel vorkommt; Wasser, Alkohol, Alkali-Lösungen, Ammoniak, die verschiedenen Salzlösungen, mit Kohlensäure gesättigtes Wasser, Salzsäure und Essigsäure sind ohne Wirkung. Concentrirte Salzsäure jedoch greift die Gutta Percha in dünnen Blättern langsam an und färbt sie dunkelbraun; nach achttägiger Berührung ist die Gutta Percha spröde geworden. Salpetersäure oxydirt sie langsam, unter Bildung einer gelben harzartigen Masse. Concentrirte Schwefelsäure verkohlt sie allmälig unter merklicher Entbindung von schwefliger Säure. Fette Oele greifen die Gutta Percha in der Kälte nicht an; in der Wärme lösen sie eine geringe Menge auf, die sich beim Erkalten wieder ausscheidet. Wasserfreier Alkohol, Aether, ätherische Oele, und Steinkohlenöl lösen sie in der Wärme nur unvollkommen auf; Benzoë, Terpentinöl, Harze, Theer und Gutta Perchaöl jedoch ganz und Schwefelkohlenstoff und Chloroform sogar schon in der Kälte. Die letzteren Lösungen können unter einer verschlossenen Glocke, welche die Verdunstung verhindert, filtrirt werden. Die Lösung geht klar und fast farblos hindurch, während die fremden Beimengungen auf dem Filter zurückbleiben. Beim Verdunsten des Lösungsmittels scheidet sich die weiße Gutta Percha als eine Haut ab, die sich mehr und mehr zusammenzieht, in dem Maße als die dazwischen gelagerte Flüssigkeit verdunstet. Die Eigenschaften sind dieselben wie bei der gewöhnlichen Gutta Percha. In einer Retorte allmälig erhitzt, schmilzt sie zu einer durchsichtigen Flüssigkeit, die kocht, ohne sich merklich zu färben. Hierbei giebt sie reichlich Dämpfe aus, welche sich zu einer öligen, fast farblosen Flüssigkeit verdichten. Die letzten Portionen des Destillats sind gelbbraun gefärbt und als Rückstand bleibt in der Retorte eine dünne Schicht kohliger Masse.

Beim Erweichen in heißem Wasser nimmt die Gutta Percha 5 bis 6 Proc. Wasser auf, was sie sehr langsam erst bei 150° C. vollständig wieder abgiebt, ohne sich sonst wesentlich zu verändern. Stärker erhitzt, beginnt sie unter Zersetzung noch flüssiger zu werden, bläht sich stark auf und giebt ähnliche Zersetzungsproducte wie das Kautschuk, mit dem sie auch eine ähnliche Zusammensetzung hat. Maclayan *) erhielt bei der Elementaranalyse 86,36 C und 12,45 H; den

*) Edinburgh new phil. Journ. Vol. XXXIX. p. 238.

Rest (1,49) sieht er als Sauerstoff an, den die Masse während der Reinigung aus der Luft absorbirt habe. Soubeiran*) erhielt 87,8 C und 12,2 H, während Faraday für den Kautschuk 87,2 C und 12,8 H angiebt.

Soubeiran stellte die reine Gutta Percha auf folgende Art dar. Nach mehreren Digestionen mit siedendem Alkohol, kochte er die Masse längere Zeit mit Aether, löste sie in rectificirtem Terpentinöl und fällte sie daraus durch Alkohol. Die wiederholt mit kochendem Alkohol ausgewaschene weiche Masse besaß alle früheren Eigenschaften der Gutta Percha. Payen giebt den Gehalt in der käuflichen auf 75 bis 82 Proc. an. Die bei + 30° C. gesättigte Lösung in Benzoë gesteht zu einer halb durchscheinenden Masse, wenn man sie unter 0° abkühlt; Alkohol schlägt die Gutta Percha aus dieser Lösung nieder.

Als Payen die Reinigung mittelst Aether an dünnen Blättchen der Gutta Percha vorgenommen und diese nach der freiwilligen Verdunstung des Aethers an der Luft, in eine Flasche eingeschlossen hatte, bemerkte er nach zwei Monaten, daß sie eine Veränderung erlitten hatten, die von ihrer Porosität, von der Wirkung der Luft und vielleicht von dem in den Poren zurückgehaltenen Aether abhängen dürfte. Die Blätter hatten ganz neue Eigenschaften angenommen: sie waren spröde, entwickelten einen starken und stechenden Geruch und lösten sich in wasserfreiem Aether zum Theil auf. Der Rückstand, nach der Verdunstung des Aethers bei 90° C. ausgetrocknet, war klebend und durchscheinend, wurde aber beim Erkalten auf — 10° C. undurchsichtig und hart. Der vom Aether nicht gelöste Theil, quoll in Schwefelkohlenstoff stark auf, wurde aber selbst nach mehrmaliger Erneuerung des Lösungsmittels nur theilweise gelöst. Bei der Verdunstung blieb eine weiche und weiße Haut zurück. — Eben so fand er, daß dünne Blätter von Gutta Percha, wenn man sie acht Tage lang in feuchter Luft der Sonne aussetzt, sich entfärben und daß ihre Masse dann größtentheils in Aether löslich geworden ist.

In neuester Zeit wurde diese Veränderung der Gutta Percha, die bei allen Fabrikaten aus derselben, sobald sie nicht mit Firniß überzogen sind, wahrgenommen worden ist, von Rieß wieder zur Sprache gebracht **). Die Oberfläche einer sorgfältig gesäuberten Platte findet man stellenweise von einem bläulichen Hauche gefärbt, der sich, wenn er durch Abreiben entfernt wird, zu wiederholten Malen erneut, so lange die Platte noch biegsam ist. Nach Jahren erscheint die ganze Oberfläche matt graublau und unter dem Mikroskop erkennt man eine außerordentlich dünne Schicht sehr feiner weißer Pünktchen, die von Aether und Terpentinöl aufgelöst wird, nicht aber durch Alkohol von 0,80 specif. Gewicht. Eine höhere Temperatur, welcher die Gutta Percha einmal ausgesetzt war, begünstigt diese Veränderung; die dunkleren Sorten der Gutta Percha leiden aus diesem Grunde darunter am meisten. Diese Oberflächenveränderung hat eine merkwürdige physikalische Eigenschaft zur Folge. Die unveränderte Gutta Percha ist bekanntlich ein guter Isolator der Elektricität und steht so tief in der elektrischen Erregungsreihe durch Reibung, daß sie mit fast allen Körpern gerieben stark negativ elektrisch wird. Nur Schießbaumwolle, Collodium und elektrisches Papier elektrisiren sie positiv. Die veränderte Oberfläche hebt das Isolationsvermögen nicht auf, aber die Gutta Percha

*) Journ. de Pharm. Jan. 1847. p. 7.

**) Poggend. Ann. Bd. XCI. S. 489.

ist dadurch hoch in der Erregungsreihe hinauf gerückt und wird, mit fast allen Körpern gerieben, stark positiv elektrisch. Ausnahmen sind nur Glimmer, Diamant und Pelzwerk. Reinigt man die eine Fläche mittelst Aether, so besitzt man eine Platte, deren blaue Fläche mit der Hand, Leinwand, Glas, Bergkrystall, der Fahne einer Feder, Flanell leicht gerieben, stark positiv und deren braune Fläche durch dieselben Reiber stark negativ wird.

Diese Veränderung der Gutta Percha hat ohne Zweifel in der durch Einfluß der Luft und Wärme bewirkten Ausscheidung eines Bestandtheiles der Masse ihren Grund. Sie verdiente genauer studirt zu werden, denn dadurch könnte man die Ursachen der unglücklichen Aenderung der Gutta Percha in eine spröde zerbrechliche Masse, die man besonders an kleinen, daraus gefertigten Gegenständen beobachtet und die mit der Bildung der blauen Schicht zusammenzuhängen scheint, ergründen.

Gersdorff *) sucht den Grund dieser Veränderung der Oberfläche, die dem Ueberzuge der reifen Pflaumen nicht unähnlich ist, in dem Anziehen von Wasser aus der Atmosphäre. Gutta Percha, der durch vorsichtiges Schmelzen alles Wasser entzogen worden und die dadurch eine dunkele braune Farbe angenommen hat, bedeckte sich sehr bald, besonders auf Schnittflächen, mit diesem Ueberzuge, während dies bei der lichtbraunen, bei der die Entwässerung nicht bis auf den höchsten Grad getrieben worden ist, nicht oder erst viel später eintritt, sogleich aber, wenn sie von dunkeln Adern, also wasserfreier Gutta Percha, durchzogen ist und auch dann nur auf diesen selbst.

Payen hat aus der käuflichen Gutta Percha in dünnen Blättern durch stundenlanges Sieden in wasserfreiem Alkohol, wobei der verdunstete immer wieder zurückfloß, einen Körper ausgezogen, der sich aus der siedend heiß filtrirten Flüssigkeit an der Randung des Gefäßes in weißen, opalartigen Körnern, welche während mehrerer Tage an Größe zunahmen, absetzte. Die Körner zeigten sich unter einem Vergrößerungsglase als kleine Halbkugeln, welche aus kleinen, langen, blättrigen Krystallen gebildet sind. Sie bestanden aus einem durchscheinenden gelblichen Kern, der mit einer weißen Haut überzogen ist. Und in der That löste wasserfreier Alkohol in der Kälte den ersteren vollständig auf, während die weißen Häute weißer und weniger durchscheinend wurden. Beide Stoffe sind Harze, das erstere nennt Payen Fluavile — zu 4 bis 6 Proc. in der Gutta Percha enthalten — und das letztere Christalbane oder Albane — zu 14 bis 16 Proc. in der Gutta Percha vorkommend. Durch Alkohol wird die Gutta Percha von beiden nur äußerst schwierig befreit; durch Aether werden die Harze reichlicher gelöst und können dann durch Alkohol getrennt werden.

Das weiße krystallinische Harz, rein dargestellt, bildet eine leichte pulverige Masse, welche unter dem Mikroskope durchsichtige blättrige Krystalle zeigt. Von 0 bis 100° C. erleidet es keine merkliche Veränderung; bei + 175 bis 180° C. wird es ölartig flüssig und vollständig durchsichtig, ohne eine erhebliche Färbung zu erleiden. Beim Erkalten erstarrt es, zieht sich zusammen, bleibt durchscheinend und etwas dichter als Wasser. — Es ist leicht löslich in Terpentinöl, Benzoë, Schwefelkohlenstoff, Aether und Chloroform. Beim freiwilligen Verdunsten der beiden letzteren Lösungsmittel bleibt es in langen, dünnen, perlmutterglänzenden

---

*) Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-Vereins. 1850. Nr. 9.

Blättchen zurück, welche büschelförmige Gruppen bilden. — Wasserfreier Alkohol löst es bei + 75° C. in reichlicher Menge auf und beim Erkalten krystallisirt es in Blättchen heraus. Von kaltem und kochendem Wasser werden die Krystalle des Harzes nicht angegriffen und nur schwierig benetzt; eben so von kalten oder heißen kaustischen Alkalien, Ammoniak und verdünnten Säuren. Concentrirte Schwefelsäure und Salpetersäure greifen das Harz lebhaft an, unter ähnlichen Erscheinungen wie die reine Gutta Percha. Salzsäure hingegen greift das Harz nicht an.

Das gelbe, amorphe Harz ist durchscheinend, ein wenig schwerer als Wasser, bei 0° hart und spröde und wird beim Erwärmen mehr und mehr weicher. Bei 50° C. geräth es in einen teigigen Fluß; erst bei 100 bis 110° C. schmilzt es vollständig. Bei stärkerer Hitze geräth es ins Kochen, wobei es sich aber zersetzt, braun wird, saure Dämpfe und Kohlenwasserstoffe entbindet. — Das Harz hält den Alkohol, worin es gelöst war, hartnäckig zurück, so daß es nur durch anhaltendes Erwärmen bei 100° C. ganz davon befreit werden kann. In Alkohol und den Lösungsmitteln des weißen Harzes ist es in der Kälte löslich. Gegen stark wirkende Reagentien verhält es sich ganz wie das weiße Harz.

Es wäre ganz besonders interessant diese beiden Harze auf ihre elektrische Erregbarkeit zu prüfen, da wir bisher keinen vegetabilischen Stoff von so eminenter positiver Erregbarkeit kennen, wie eben die veränderte Oberfläche der Gutta Percha, die bestimmt damit im Zusammenhange steht.

Außerdem fand Payen in der käuflichen Gutta Percha noch andere Substanzen, — lösliche und unlösliche Salze, stickstoffhaltige, organische Stoffe, eine fette Materie, ein flüchtiges Oel, Farbstoff und Eisenoxyd — jedoch nur in sehr geringen Mengen.

Nach Soubeiran enthält die käufliche Gutta Percha wenigstens fünf verschiedene Stoffe: reine Gutta Percha, eine in Wasser lösliche Pflanzensäure, Casein (?), in Aether und Terpentinöl lösliches Harz und in Alkohol auflösliches Harz. Den faulen Käsegeruch zeigte nur die aus China stammende Probe, die aus London erhaltenen nicht. Die Pflanzensäure beträgt nur ungemein wenig. Sie ist von einem braunen Extractivstoff begleitet, der von den der Masse beigemengten Unreinigkeiten herrühren dürfte. Das in Alkohol lösliche Harz ist geruchlos, durchsichtig, etwas weich; das in Aether lösliche gelblich weiß. Das letztere besitzt in hohem Grade den Geruch des Leders und von ihm rührt der der rohen Gutta Percha her. Ferner giebt Soubeiran an, daß die käufliche Gutta Percha durch die Behandlung mit Alkohol und Aether nur äußerst wenig an Gewicht verloren habe.

Nach Kent *) ist das dem Kautschuköl ähnliche Destillationsproduct der Gutta Percha im reflectirten Lichte braun und im durchfallenden roth. Es ist klar, in Alkohol von 90 Proc. schwer löslich, wird am Licht dunkler, hat einen unangenehmen Geruch und ein specif. Gewicht von 0,856. Nach zweimaliger Rectification erhält man eine freiwillig verdunstende, bei 320° F. siedende hellgelbe Flüssigkeit, die in Alkohol leicht löslich ist und an der Luft dunkler wird. — Maclayan **) erhielt bei der trocknen Destillation der Gutta Percha dieselben

---

*) Sillim. americ. Journ. Vol. VI. p. 246.

**) A. a. O.

Producte wie beim Kautschuk. Beide gaben ein durchsichtiges gelbes Oel, dessen Kochpunkt nicht stationär blieb, sondern von 182 bis 190° stieg. Für beide Oele giebt er die Formel $C^{10} H^8$.

Adriani hat die Gutta Percha einer sorgfältigen chemischen Untersuchung unterworfen *). Bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes entfernte er die anhängenden Luftblasen durch Auspumpen mittelst der Luftpumpe. So fand er dasselbe — 0,999; ohne diese Vorsicht = 0,728. Bei einer mechanisch gereinigten und in Plattenform gebrachten Gutta Percha wurde das spec. Gew. = 0,966 gefunden.

Zur weiteren Untersuchung benutzte Adriani verschiedene Sorten; die eine (b) war sehr locker im Zusammenhange und enthielt viele Unreinigkeiten. Eine andere (c) war weiß von Farbe. Man hatte sie aus dem Block ausgeschnitten, weil man sie für eine Verunreinigung hielt; es zeigte sich aber, daß sie an Brauchbarkeit der besten gleich kam.

Beim Auskochen der Gutta Percha mit Wasser färbt sich dasselbe braun und nimmt eine saure Reaction an, die indeß beim Abdampfen verschwand, also von einer flüchtigen organischen Substanz herzurühren scheint. Beim Eintrocknen hinterblieb eine braune extractartige Masse, die aus der wässerigen Lösung durch Alkohol gefällt wird. Bei b betrug sie nach dreimaligem Auskochen nur 0,042 Proc. der ganzen Masse. Farblos, wie Soubeiran behauptet, wurde die Gutta Percha durch diese Operation aber nicht. Die Sorte c theilte dem Wasser weder Farbe, noch saure Reaction mit. — Kalter Alkohol zog ein in Aether und ätherischen Oelen lösliches Harz aus; bei b 3,495 Proc. Kochender Alkohol löste neben dem Harz ein wachsähnliches weißes Fett auf, dessen Menge 12,035 Proc. betrug. Die Sorte c gab keine bemerkbare Menge Harz und nur sehr wenig Fett. — Aether zog in der Wärme ein Harz aus, welches in starkem Maße den Geruch der Gutta Percha besaß und bei a dunkel gefärbt, bei b trockenem Traubenzucker ähnlich war. Der Gehalt betrug bei b 13,61 Proc. Die Sorte c gab an Aether kein Harz ab.

Adriani fand, den Angaben Anderer entgegen, daß die reine Gutta Percha schon bei 130° unter Bildung einer ölartigen, beim Erkalten wieder erstarrenden Flüssigkeit sich zu zersetzen beginnt. — In der rohen Gutta Percha sind Spuren von Stickstoff enthalten; wahrscheinlich in den extractivstoffartigen Beimengungen. Eine sogenannte Proteïnverbindung, wie Caseïn, die von Gouibourt und Soubeiran als Bestandtheil der rohen Gutta Percha angegeben wird, konnte jedoch nicht aufgefunden werden.

Bei der trocknen Destillation liefert die Gutta Percha bei 110° ein gelbes Oel von durchdringendem, nicht unangenehmem Geruche. Zwischen 120 bis 200° gehen gelbe, unangenehm riechende, und an der Luft sich dunkler färbende ölige Stoffe über, bei noch höherer Temperatur wird die Farbe des durchgehends dünnflüssigen Destillats mehr roth oder rothbraun. 50 Gramm Gutta Percha lieferten 28,83 Grm. flüchtiges Oel von 0,909 spec. Gew. Die Destillationsproducte von Gutta Percha werden von Kent in New-York fabrikmäßig dargestellt. — Beim Einäschern hinterließ die ausgetrocknete rohe Gutta Percha (Sorte b)

*) Verhandeling over de Gutta Percha en Cautchouc en derselver verhanding. Utrecht 1850.

5,18 Proc. und die durch Chloroform rein dargestellte 0,314 Proc. unorganische Stoffe, — Kalk, Eisenoxyd, Spuren von Kali, Talkerde und Kieselsäure. Die Basen waren in der Asche an Kohlensäure gebunden.

Nach Arppe's Untersuchungen *) ist die Gutta Percha in der Zusammensetzung vom Kautschuk verschieden. Sie ist ein Gemenge von Harzen, die aus einem Kohlenwasserstoffe, $C^{10} H^{8}$ sich gebildet haben können. Nach ihm löst sich die von den mechanisch eingemengten Unreinigkeiten befreite Gutta Percha in Aether, der von Alkohol frei ist, jedoch nicht mehr, wenn sie zuvor mit Alkohol behandelt worden ist. Sie enthält flüchtige Stoffe in sehr geringer Menge. Das Destillat mit Wasser ist braun und hat einen eigenthümlichen, nicht angenehmen Geruch. Die Masse besteht wesentlich aus sechs verschiedenen Harzen. Mit Alkohol von 0,81 spec. Gew. lösten sich 13 Proc. Dünstet man ein und behandelt den Rückstand mit kaltem Aether, so bleibt das α Harz zurück. Es ist in Alkohol von 0,81 spec. Gew. schwer löslich und setzt sich aus der Lösung beim Verdunsten in undeutlichen Krystallblättern ab, die erst bei höherer Temperatur schmelzen, sich dabei zersetzen und Producte geben, die mit leuchtender und rußender Flamme brennen.

Aether löst die β, γ und δ Harze. Beim Verdunsten bleibt eine klebrige Masse, die bei der Behandlung mit kochendem absoluten Alkohol ein Pulver hinterläßt, welches eine Verbindung des δ Harzes mit Kalkerde zu sein scheint. Die Alkohollösung giebt beim Verdunsten eine klebrige Masse mit beigemischten Krystallen. Letztere, das β Harz, $C^{40} H^{31} O^{6}$ bleiben beim Lösen der ersteren in kaltem absoluten Alkohol zurück. Aus der alkoholischen Lösung schießt das β Harz in nadelförmigen, eine halbe Linie langen Prismen an, die beim Uebergießen mit Alkohol glanzlos werden, zu Pulver zerfallen und sich dann lösen. Das β Harz schmilzt bei + 125°, erstarrt zu einer farblosen, glasähnlichen Masse. Die alkoholische Lösung reagirt nicht sauer und wird durch essigsaures Bleioxyd nicht gefällt; die ätherische Lösung treibt aus kohlensaurem Kali keine Kohlensäure aus.

Die Lösung in kaltem Alkohol liefert das γ Harz, $C^{40} H^{31} O^{3}$; es ist klebrig, hält den Alkohol hartnäckig zurück, schmilzt bei + 50° und ist dann lichtgelbbraun. Es färbt sich an der Luft dunkler. In Wasser verliert es allmälig seine Klebrigkeit und verwandelt sich in weiße Flocken, die schwer löslich in Alkohol sind. Mit essigsaurem Bleioxyd giebt es eine lichtbraune, butterweiche Fällung, die bei 100° schmilzt.

Das δ Harz, $C^{40} H^{24} O^{8}$, erhält man, indem man die Masse nach der Behandlung mit Alkohol von 0,81 spec. Gew. mit solchem von 0,83 spec. Gew. kocht. Den Rückstand beim Verdunsten behandelt man mit kaltem Wasser. Er löst sich in Aether und bildet beim Verdunsten einen klebrigen Rückstand. Aus der alkoholischen Lösung setzt sich das Harz in farblosen Körnern ab. Es schmilzt bei + 175° und wird durch Bleizucker nicht gefällt.

Die ε und ζ Harze sind in Alkohol unlöslich und betragen zusammen 87 Proc. der rohen Gutta Percha. Um sie zu erhalten, löst man die Gutta Percha in Aether, verdunstet und zieht den Rückstand mit Aether aus. Da das ε Harz, $C^{40} H^{31} O^{10}$, leichter löslich in Aether ist, so läßt es sich aus den ersten Auszügen des Gemisches mit Aether darstellen. Es ist ein schneeweißes Pulver, schmilzt bei + 55°, bildet

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. LIII. S. 171.

beim Erkalten eine hellgelbe, spröde Masse, wird aus der ätherischen Lösung durch Alkohol gefällt, löst sich jedoch, obwohl nur unbedeutend, auch in kochendem Alkohol.

Das ζ-Harz, $C^{40}H^{31}O$, ist eine weiße, etwas weiche, doch brechbare, schwer pulverisirbare Masse, die bei + 40° schmilzt. Es ist dann gelbbraun, klebrig, in Fäden ausziehbar. Bei 100 bis 110° ist es braun, nach dem Erkalten ziegelroth, glanzlos und ähnelt der rohen Gutta Percha, deren Hauptbestandtheil es ausmacht. Es ist fast unlöslich in kaltem Aether und sehr unbedeutend löslich in kochendem Alkohol. — Beim Uebergießen der beiden letzten Harze mit concentrirter Salpetersäure entzünden sie sich, mit verdünnter oxydiren sie sich weniger heftig. Unter den Endproducten der Oxydation findet sich Oxypikrinsäure.

Die Producte der trocknen Destillation sind nach Arppe bei Gutta Percha andere, als beim Kautschuk.

Nach Page *) sind Kautschuk und Gutta Percha in ihrer Structur ganz von einander verschieden. Walzt man letztere zu dünnen Blättern oder zieht man sie zu Stricken aus, so verhält sie sich wie eine faserige Substanz, was beim Kautschuk nicht der Fall ist. Ein dünner Streifen läßt sich in einer Richtung, nämlich in einer Linie mit der Faser, bedeutend strecken, aber er reißt bei jedem Versuch ihn quer dieser Linie zu strecken, während sich Kautschuk nach allen Richtungen gleich gut strecken läßt. Untersucht man dünne Blätter beider Substanzen im Polarisations-Instrument, so zeigt der Kautschuk wenig oder keine Farbenveränderung, während die Gutta Percha schöne Erscheinungen darbietet. Sie scheint aus Prismen von den mannichfaltigsten Farben gebaut zu sein, welche gleichsam in einander verflochten sind.

Um auf chemischem Wege Kautschuk und Gutta Percha zu unterscheiden, soll nach Schwerdtfeger **) Chloroform dienen. Erhitzt man die letztere damit zum Kochen, so löst sie sich bekanntlich. Aether fällt sie aus der Lösung nicht, Alkohol fällt sie aber als eine weiße dehnbare, nicht klebrige Haut, eben so bleibt sie zurück, wenn man das Chloroform verdunstet. Kautschuk dagegen quillt in Chloroform nur auf und erst, wenn man durch mechanische Nachhülfe, durch Zerdrücken mittelst des Pistilles, diese Gallerte vertheilt hat, löst kochendes Chloroform auch dieses. Nicht Aether, aber Alkohol fällt das Kautschuk als zusammenhängende elastische Masse, die nicht klebt. Vermuthet man ein Gemenge beider Substanzen vor sich zu haben, so zieht man durch kochendes Chloroform die Gutta Percha aus. Das Kautschuk bleibt, wenn auch im aufgequollenen Zustande zurück.

Als Montgomery die ersten Proben der Gutta Percha nach London überschickte, empfahl er sie ganz besonders zur Anfertigung von chirurgischen Instrumenten, da solche aus Kautschuk in dem heißen und feuchten Klima von Malacca sehr bald erweichen und klebrig werden. Bald aber wurde erkannt, daß die trefflichen Eigenschaften der Gutta Percha sie geeignet machen, sie zu tausenderlei Dingen zu verwenden; besonders schien diese ein Ersatzmittel für das Leder zu versprechen, indem die Gutta Percha nicht die Uebelstände darbietet, welche sich bei Anwendung des Kautschuk zu diesem Zwecke zeigen. Zudem ist sie nicht der Abnutzung oder

*) Sillim. americ. Journ. Januar 1851.

**) Neues Jahrb. f. prakt. Chemie. Bd. I. S. 100.

dem Zerbrechen unterworfen und ist auch die Form, die man dieser bildsamen Masse gegeben, aus der Mode gekommen, so braucht man sie nur in heißes Wasser zu bringen, um sie ummodeln oder auch zu ganz etwas Anderem verwenden zu können. Obgleich erst seit kurzer Zeit bekannt, wird sie doch bereits zur Anfertigung so vieler Dinge verwendet und die Art der Verarbeitung ist eine so mannichfaltige, daß es schwer halten wird hier Alles zur Anschauung zu bringen.

Die Gutta Percha wird theils für sich allein, theils mit Kautschuk oder anderen ähnlichen Substanzen von geringerer Güte, die ihr durch Kneten unter Hinzufügung von geringen Mengen Terpentinöl oder anderer erweichender Mittel einverleibt werden, theils in Auflösung verwendet. Zu verschiedenen Zwecken werden auch andere Körper in Pulverform unter die Gutta Percha gearbeitet. So wird sie z. B. mit Korkholzpulver, Gallerte und Melasse zu wasserdichten Stöpseln für Flaschen verarbeitet. Auch für sich allein kann sie dazu dienen ohne große Mühe einen sicheren, reinlichen, sehr schwer zerstörbaren Verschluß bei Gläsern und Gefäßen verschiedener Art, wo man sich sonst der Korke, thierischen Blase oder Kitte bediente, zu bewerkstelligen, der zudem noch sehr billig ist, weil die Abgänge immer wieder benutzt werden können. Diese Verwendung der Gutta Percha ist besonders bei der Aufbewahrung von Chlorwasser, überhaupt solcher Substanzen sehr praktisch, durch welche der Kork sehr leicht zerstört wird. Zu Sohlen und Treibriemen verleibt man der Gutta Percha Thon, Quarz, Porzellan, Marmor, insbesondere aber auch Zinkoxyd, Kupferoxyd, gelöschten und kleesauren Kalk ein. Man legt dabei die Gutta Percha auf eine heiße Platte und walzt sie zu einem Blatt aus. Man siebt dann die Materialien darauf, faltet das Blatt, walzt wieder aus und wiederholt die verschiedenen Operationen bis zur Genüge. Will man der Gutta Percha und ihren Compositionen eine leichte, poröse und schwammige Textur geben und sie dadurch zum Stopfen oder Formen der Sitze von Sesseln, Kissen, der Matratzen, Sättel, Pferdekummete und Buffers, so wie zu manchen anderen nützlichen Zwecken geeignet machen, so knetet man sie mit mehr oder weniger Terpentinöl oder anderen Lösungsmitteln zusammen und setzt Alaun, kohlensaures Ammoniak oder irgend eine andere leicht zu verflüchtigende oder aufblähende Substanz hinzu. Die fertigen Artikel werden dann in einen Ofen oder in eine durch Dampf bis auf 100° R. erhitzte Kammer gebracht, worin sie 1 bis 2 Stunden stehen bleiben. — Dadurch, daß man die aus Gutta Percha gefertigten Gegenstände den Dämpfen der salpetrigen Säure aussetzt oder auch 1 bis 5 Minuten lang in eine kochende, concentrirte Chlorzinklösung taucht und dann in einer schwach alkalischen Flüssigkeit oder in weichem Wasser abwäscht, ertheilt man ihnen beinahe einen Metallglanz. Durch Beimischen irgend eines Farbestoffes kann man die Masse beliebig färben.

Ganz besonders schätzenswerthe Eigenschaften erhält die Gutta Percha dadurch, daß man sie mit Schwefel imprägnirt. Sie wird dadurch mehr elastisch und unempfindlich gegen Temperaturveränderungen und Lösungsmittel. Da aber der Schwefel die Neigung hat an der Oberfläche auszuschwitzen, so wendet man statt seiner verschiedene Schwefelverbindungen an, wie Schwefelarsenik, Schwefelantimon, Schwefelcalcium, Schwefelkalium, Chlorschwefel, Schwefelkohlenstoff ꝛc. Dann setzt man die Masse einige Zeit ($^1/_4$ bis 1 Stunde) einer Hitze von 119 bis 137° R. aus. Andere ziehen zu diesem Zwecke unterschwefligsaures Blei- oder Zinkoxyd vor.

Setzt man diese Masse in verschlossenen Mulden 1 bis 6 Tage hindurch einer Hitze von 155° R. aus, so erlangt sie eine solche Härte, daß sie auf der Drehbank gleich Holz oder Elfenbein verarbeitet werden kann. Eine besondere Weichheit und Biegsamkeit erlangt die geschwefelte Masse, wenn man sie in verdünnte schweflige Säure eintaucht oder den Dämpfen derselben aussetzt oder wenn man sie in der Knetemaschine mit Talg verbindet.

Die Gegenstände, die man aus der auf verschiedene Weise zubereiteten Masse darstellt, sind der mannichfaltigsten Art. Die Reihe derselben ist eine sehr bunte; einige derselben verdienen eine kurze Besprechung. Die Unveränderlichkeit der Gutta Percha in feuchter Luft, in der das Leder stockt, und die Unempfindlichkeit gegen sonst zerstörend wirkende Substanzen, wie Säuren, Alkalien 2c., machen sie sehr geeignet zur Anfertigung von Treibriemen, außerdem zu Röhren für Wasserleitungen, Pumpen, Schläuchen, Spritzen, Kolbenliederungen, Stiefelsohlen 2c. Die Leichtigkeit, mit der man einzelne, schief geschnittene Stücke der Gutta Percha mittelst eines erwärmten Eisens mit einander verbinden kann, verstattet Bänder von jeder Länge herzustellen. Diese biegt man um einen Dorn herum zu Röhren, die mitunter auch gepreßt oder in Formen von Gyps, Thon 2c. gegossen werden. Jede Reparatur ist hier gleichfalls auf das Leichteste auszuführen. Es ist hierbei jedoch sehr zu beachten, daß Wasser, selbst wenn es auch nur in geringen Mengen im Innern der Masse zurückgeblieben ist, das Zusammenkleben verhindert.

In den Birmingham-Wasserwerken wurden solche Röhren untersucht, um ihre Anwendbarkeit für Wasserleitungen zu ermitteln. Man wählte dazu Röhren von 8 engl. Linien Wandung, die zwei Monate lang einen Druck von 200 Fuß Wasserhöhe aushielten ohne zu bersten; dies trat selbst nicht ein, als der Druck für den Quadratzoll bis auf 337 Pfund erhöht wurde. Ein gleich günstiges Zeugniß stellt die Maschinenwerkstatt der Mannsfeldschen Gewerkschaften nach vorhergegangenen Proben aus; hier wird besonders ihr Nutzen für den Bergbau hervorgehoben, da sie leicht jede Biegung annehmen, in jeden Winkel geführt werden können und überall hinpassen.

Die Pumpenliederungen von Gutta Percha bei der Carolusschächter Wassersäulenmaschine im Sangerhauser Bergreviere, seit Ende 1848 in Anwendung, zeigten in der Regel eine dreifache Dauer gegen solche von gutem Mastrichter Sohlenleder. Obgleich die gehobenen Grundwasser viel Sand führen, der sehr scharf ist und mithin nachtheilig auf die Liederung wirkt, hielt diese dennoch durchschnittlich drei Monate. Gleich günstige Resultate erhielt man in den Bergwerken von Freiberg, im Plauenschen Grunde und im Zwickauer Steinkohlenrevier. Die Kosten gegen Leder stellten sich hier wie 1 : 10. — Einen bei weitem geringeren Beifall haben sich die Schuh- und Stiefelsohlen erworben. Freilich im Anfange erregten sie als Neuigkeit sehr starke Nachfrage, aber im Laufe der Zeit hat sich doch ergeben, daß alle Versprechungen hier nicht erfüllt werden und sich empfindliche Nachtheile bei dem Gebrauch herausstellen, so z. B. die weiche Beschaffenheit im Sommer und ganz besonders die Gefahr im Winter beim Glatteis, der man sich aussetzt. So ist es denn davon wieder ganz stille geworden und wohl nicht ganz mit Unrecht, obgleich sie für Nässe absolut undurchdringlich und unempfindlich sind.

In der Buchbinderei findet die Gutta Percha eine vielseitige Anwendung. Man bedient sich ihrer statt des Leimes, Eiweißes oder Gummi's zum Kleben;

dann auch als Bindemittel zum Marmoriren des Schnittes und zum Färben der Deckel; statt des Pergamentes, Leders oder der Leinwand zum Binden der Bücher, indem man die Verzierungen darauf drückt oder eine Lösung der Substanz auf vertieft oder in Relief gravirte Flächen ausgießt und endlich auch statt der Pappe, zu welchem Zwecke man die Gutta Percha mit Papierzeug, Scheerwolle, Baumwolle ꝛc. mengt. Zur Bezeichnung in Baumschulen werden Täfelchen von Gutta Percha sehr empfohlen. An Billigkeit übertreffen sie die sonst gebräuchlichen Metalltafeln, die außerdem noch manche Unannehmlichkeiten besitzen. Die Gutta Percha-Täfelchen geben auch eine dauerhafte und leicht kenntlich bleibende Bezeichnung für feuchte Keller; Namen und Zahlen kann man mit Buchdrucklettern hineindrucken. — Dünne Blätter der Gutta Percha können auch statt des Papieres dienen, sie sind von der größten Feinheit herzustellen. Sie nehmen den lithographischen Druck viel vollkommener an als das schönste chinesische Papier, so daß die Abdrücke wahrhaft bewunderungswürdig sein sollen. Bei großer Feinheit ist das Blatt durchsichtig und man hat dann auf der Rückseite ein umgekehrtes Bild. Ein Papier, welches schwer zu zerreißen ist und sich daher besonders für Banknoten, Actien, Pässe ꝛc. eignet, läßt sich auf die Art herstellen, daß man zwischen zwei Zeuge Bogenfäden von Gutta Percha einen Zoll von einander entfernt kreuzweise legt. Durch Benetzen mit einer Gutta Percha-Lösung in Schwefelkohlenstoff kann Druckpapier augenblicklich in Schreibpapier umgewandelt werden. Eine solche Flüssigkeit ist daher besonders beim Radiren zu verwenden.

In großer Menge wird die Gutta Percha zur Darstellung wasserdichter Zeuge verbraucht. Diese werden auf verschiedene Art angefertigt. Man legt eine Anzahl von Gutta Percha-Fäden dicht neben einander auf eine Grundlage von Zeug und läßt dies zwischen erhitzten Walzen hindurch gehen, wodurch die Fäden sowohl unter sich als mit dem Fabrikat fest zusammengeleimt werden. Durch Anwendung von Fäden, welche verschiedene Farben und Größe haben, kann man dem Fabrikat das Ansehen gestreifter Muster geben. Durch diese Fäden läßt sich auch eine Art von Mosaik-Arbeit darstellen, wenn man verschieden gefärbte in Reihen über einander legt und diese durch eine Auflösung von Gutta Percha zusammenleimt. Ferner wendet man bei wasserdichten Zeugen auch die Auflösung der Gutta Percha an, theilweise auch mit Zusätzen von Schellack, Harz, Asphalt ꝛc. Gröbere Fabrikate dieser Art benutzt man auch zum Dachdecken.

Die Auflösung von Gutta Percha dient zu vielerlei Zwecken: um Tauwerk aller Art zu tränken, als Appretur zum Steifen von Seidenbändern und anderen Fabrikaten, mit Farben vermischt zum Drucken seidener, baumwollener ꝛc. Zeuge, Leder ꝛc., als Firniß für eine Menge von Artikeln, als Kitte und Cemente, um Früchte, die versendet oder in wissenschaftlichem Interesse aufbewahrt werden sollen, zu überziehen, um Zeichnungen in Kreide, Kohle ꝛc. vor der Zerstörung durch Reibung zu bewahren ꝛc.

Zu chirurgischen Zwecken hat sich die Vortrefflichkeit der Gutta Percha hinreichend bewährt. Die hieraus gefertigten Sonden, Bougies, Katheder, Urinröhrchen, Spritzenröhrchen ꝛc. haben viele Vorzüge und werden daher sehr gebraucht. Aber auch zu anderen wichtigen chirurgischen Zwecken hat man die Gutta Percha brauchbar gefunden. Ganz besonders eignet sie sich zur Behandlung von Knochenbrüchen. Sie gewährt hier nicht nur dem Patienten Erleichterung, sondern verringert auch die Mühe des Arztes bedeutend. Orlay, Chirurg der Colonie

auf der Prinz Wales Insel, Singapore und Malacca, sagt daher: „Wenn die Gutta Percha auch gar keine andere Anwendung gefunden hätte als diese, so wäre sie schon ein schätzbares Geschenk für die Menschheit. Sie legt sich an jede Vertiefung so gut an, daß sie dem Patienten beinahe eher als neuer Knochen, denn als eine bloße Unterstützung desselben dient.“ Sie vereinigt als Verbandmittel nicht nur alle Vortheile des bisherigen Kleisterverbandes, sondern ist noch deshalb vorzuziehen, daß der Verband nicht in der ganzen Circumferenz der Glieder angelegt zu werden braucht, sondern vielmehr Zwischenraum verstattet, wo man kalte Umschläge und dergleichen erforderliche Mittel appliciren kann. Auch hat die Gutta Percha dadurch für die Chirurgie einen unberechenbaren Vortheil, daß der Wundarzt ohne weitere Vorbereitungen in den Stand gesetzt ist, sich augenblicklich einen genau passenden Unterlagstiefel und die Gelenkenden umschließende Schienen anzufertigen, was bei complicirten Knochenbrüchen und solchen, welche die Gelenkenden treffen, sehr wichtig ist.

Orlay erzählt, daß ein in sein Spital gebrachter Mann, welchem durch den Fußtritt eines Pferdes der untere Kinnbackenknochen in mehrere Stücke zerbrochen worden war, so daß Blut aus den Ohren floß, zehn Tage darauf schon wieder essen und sprechen konnte und sich zehn Tage darauf mit seiner Gutta Percha-Schiene so wohl befand, daß er nach zehn Tagen das Spital ganz verließ. In England wendete Smee zuerst Schienen aus Gutta Percha bei gebrochenen Knochen an und in Deutschland war es Lorinser, der auf die Wichtigkeit dieses neuen Verbandmittels aufmerksam machte. Die Wegnahme des Verbandes wird sehr einfach dadurch erreicht, daß man die das Glied umgebenden Bänder zerschneidet und dann das Glied in warmes Wasser tauchen läßt, wodurch der Verband biegsam und abnehmbar wird.

Da eine Auflösung von Gutta Percha in Schwefelkohlenstoff, auf eine Fläche ausgegossen, sehr schnell verdampft und dann eine vor dem Einfluß des Wassers und der Luft schützende Decke zurückläßt, so ist sie, statt des Collodium und Heftpflasters bei Wunden sehr gut zu gebrauchen. Wegen seiner großen Flüchtigkeit erzeugt der Schwefelkohlenstoff auf der Haut eine große Kälte und daher wirkt die Lösung, außer der schnellen Vereinigung der Wundränder auch noch in diesem Sinne. Bei Geschwüren, überhaupt bei Hautkrankheiten leistet diese Lösung, eben durch Abschluß der atmosphärischen Luft, gleichfalls gute Dienste. — Bisher war man in Ostindien nicht im Stande, das Pockengift auch nur einige Tage aufzubewahren, und mußte daher oft die Wohlthat dieses wichtigen Mittels Jahre lang entbehren. Diesem Uebel ist nun vollständig durch Aufbewahren in Kapseln aus Gutta Percha abgeholfen. Nach Monaten zeigte der Inhalt einer solchen Kapsel noch seine volle Wirksamkeit. — Auch zur Anfertigung des den Zahnhöhlenbogen darstellenden Theiles der künstlichen Gebisse ist die Gutta Percha verwendet worden. Sie ist frei von allen Mängeln, mit denen man bei den sonst gebräuchlichen Materialien so sehr zu kämpfen hatte.

Ueber die Vielseitigkeit des Gebrauches der Gutta Percha zum Abformen von Gegenständen verweisen wir auf den Artikel Galvanoplastik und über den Gebrauch zum Isoliren auf die Artikel Elektricität, Elektrophor und Telegraphie.

Gegen Seewasser scheint die Gutta Percha von Bestand zu sein, wenigstens zeigte sich hier nach drei Monaten keine Veränderung; auch war das Wasser nicht

eingedrungen. In Folge dessen wendet man diese merkwürdige Substanz in England, auf den Vorschlag von Forster, Schiffsmeister der königl. Marine in Plymouth, auch beim Schiffsbau an. Das Holz wird zuerst mit einer Auflösung von Gutta Percha angestrichen und wenn diese fast ganz eingetrocknet ist, werden Blätter von Gutta Percha mittelst Drucks darauf angebracht. Solche Planken und Breter werden für die Außenseiten der Schiffe verwendet; die übergreifenden und auf einander passenden Ränder oder Enden des Holzes überzieht man mit Gutta Percha-Lösung, desgleichen die Oberflächen der Fugen, um sie wasserdicht zusammen zu leimen; die hölzernen Nägel, welche man durch solche Planken oder Blätter treibt, überzieht man ebenfalls mit Gutta Percha-Lösung. — Beim Bau kleiner Boote leimt man zwei oder mehrere dünne Planken oder Breter mit Gutta Percha-Lösung auf einander und überzieht hierauf die äußeren Flächen mit derselben. Das Holz bekommt dann nicht so leicht Sprünge, wenn die Boote außer dem Wasser und an trockenen Orten aufbewahrt werden.

Auf den Vitriolhütten von Bristol hat man die kostspieligen ledernen Schöpfeimer, welche früher allgemein zum Uebertragen der Säure gebräuchlich waren, durch solche aus Gutta Percha ersetzt. Man hat auch angefangen hölzerne Fässer mit Gutta Percha zu füttern, um die Salzsäure in solchen aufzubewahren, und so die zerbrechlichen gläsernen Ballons entbehren zu können. Auch zur Aufbewahrung der verdünnten Salpetersäure dienen solche Gefäße, concentrirte Salpetersäure griff die Auskleidung in 12 Monaten an, jedoch nicht sehr bedeutend. — Städeler hat gefunden *), daß Gutta Percha der Einwirkung der concentrirten Flußsäure sehr gut widersteht. Gefäße aus diesem Material eignen sich daher sehr gut zum Aufbewahren der Säure, die in der analytischen Chemie sehr viel gebraucht und stets mit einem verhältnißmäßig großen Aufwande von Zeit und Mühe frisch bereitet wird, da zu ihrer Aufbewahrung sehr kostbare Gefäße aus Platin erforderlich sind. Obgleich Städeler seit länger als einem halben Jahre concentrirte Flußsäure in einer Flasche aus Gutta Percha aufbewahrt hatte, bemerkte man doch an der letzteren keine weitere Veränderung, als daß die innere Wand derselben etwas heller gefärbt ist, als die äußere. Die Säure selbst zeigte sich bis auf den letzten Tropfen vollkommen klar und farblos. Demnach könnte die Säure sehr gut in Fabriken bereitet und in Gutta Percha-Fläschchen versendet werden. — Eine Auflösung von Gutta Percha in Schwefelkohlenstoff eignet sich auch sehr gut, um Metalle vor der zerstörenden Einwirkung der Atmosphäre oder anderer Substanzen zu schützen. Ganz besonders ist dies für die Zeugdruckereien wichtig. Man könnte hier bei den immer mehr in Anwendung kommenden Klotzmaschinen statt der sich so leicht werfenden Holzwalzen zum Theil gußeiserne verwenden, eben so auch bei Stärkmaschinen ꝛc. Die Lösung wird gleichmäßig mit einem Pinsel aufgetragen. Der Ueberzug braucht nur äußerst dünne zu sein, so daß er schon nach kaum einer Minute fest ist. Mit überzogenen eisernen Walzen kann man sicher mit essigsaurer Thonerde oder Zinnbeizen in den zartesten Farben arbeiten. Bei einer Stärkmaschine, mit der kochend heiße Stärke verarbeitet wird, hielt sich ein solcher Ueberzug, der übrigens sehr leicht wieder zu erneuern ist, seit vielen Monaten und schützte vor jeder Spur von Rost. — Gute Dienste würde ein solcher Ueberzug auch im Innern der eisernen Schiffe leisten, um diese vor den Zerstörungen durch Zucker zu

*) Ann. d. Chemie und Pharm. Bd. LXXXVII. S. 137.

schützen, die nach Gladstone *) durch die aus den Fässern abtröpfelnde Flüssigkeit so bedeutend sein sollen, daß die Besitzer von eisernen Schiffen sich weigern, Zucker zu verladen.

Aus einem Gemenge von Gutta Percha mit Steinkohlenklein, Sägespänen, Steinkohlentheer rc., einer Art künstlichem Brennmaterial, bereitet man durch Verbrennen einen vorzüglichen Ruß, der als schwarze Farbe, namentlich zur Buchdruckerschwärze zu verwenden ist.

Das practical Mechanics Journal — October 1850 S. 167 — veröffentlicht einen ächt englischen Vorschlag zur Verwendung der Gutta Percha. Es veranschaulicht nämlich einen Hörapparat für Taube in Kirchen. Zu diesem Ende soll ein Trichter von Gutta Percha an der Kanzel angebracht werden; von diesem aus geht ein Rohr aus gleichem Material unter den Fußboden hinab, das längs der Chorflügel fortgeführt wird und Verzweigungen zu beiden Seiten in die Stühle sendet, wo Schwerhörige seiner Hülfe bedürfen. Wenn man die elfenbeinerne Ohrbrille anlegt, soll man das schwächste Flüstern des Predigers deutlich hören können.

Zum Schlusse wollen wir hier ein Verzeichniß der mannichfaltigen Artikel in bunter Reihe mittheilen, die durch Formen, Prägen, Treiben, Gießen oder sonstige Processe aus der Gutta Percha angefertigt werden, als Karniese, Leisten, Simswerk, Täfelwerk, Mosaik, überhaupt Ornamente und architektonische Verzierungen jeder Art, Spiegel- und Gemälderahmen, Messer- und Säbelgriffe, Spazierstöcke, Peitschen, Schachfiguren, Petschafthalter, Flötentasten, Klavierhämmer, Knöpfe, Mützen, Kappen, Hüte, Helme, Gesichtsmasken, Koffer, Schachteln, Futterale, Schalen, Becher, biegsame Fläschen, Flaschengehäuse, überhaupt Gefäße jeder Art und Größe, Federn für Uhren und Schlösser, Unterlagen für die Stühlchen und Schienen der Eisenbahnen und Maschinentheile, Ventile für atmosphärische Eisenbahnen, Walzendrucktücher, Ueberzüge für Walzen zum Pressen und Appretiren weicher Waaren, Walzen für Spinnmaschinen, Krämpeln für Baumwolle und Wolle, Knöpfe, Ziernägel, Spielmarken, Spielwaaren, Kämme, Bälle, Armbänder, Ringe, Pferdezügel, Schnüre, Bänder, Riemen, Gürtel, Bruchbänder, Luftkissen, Tornister, Bockdecken für Kutschersitze, Tintenfässer, Strümpfe, Schuhe, Stiefeln, Galoschen, Kamaschen, Gehäuse zu Fernröhren, Compaßbüchsen, bei denen die localen Störungen vermieden werden, welche die Magnetnadel erleidet, wenn in den Metallen Eisenpartikelchen enthalten sind.

Bei der außerordentlichen Mannichfaltigkeit in der Verwendung, deren die Gutta Percha fähig ist, wäre es sehr zu bedauern, wenn die früher angeführte Befürchtung sich bewahrheiten und dieser überaus nützliche Pflanzensaft dermaleinst aus dem Handel verschwinden sollte. Uebrigens scheint Ostindien an dergleichen Pflanzensäften sehr reich zu sein, doch sollen sie an Werth der wahren Gutta Percha bedeutend nachstehen. Die schlauen Chinesen, in deren Händen sich der Handel zu Singapore meistens befindet, benutzen die geringen Sorten, wie Jelotong, Geyrek, Litchu und andere zu Beimengungen und daher rührt die Verschiedenheit im Ansehen und in den Eigenschaften der Gutta Percha. Ueber diese verschiedenen Surrogate ist jedoch wenig bekannt; auch der Bericht von Martius über die

*) L'Institut. No. 1047. p. 35.

Gummen und Harze der Londoner Industrieausstellung von 1851 *) hebt sie nicht besonders hervor.

Gutta Girek ist der Milchsaft eines Baumes — Achras Sapota, — der gleichfalls zur Familie der Sapotaceen gehört. Erwärmt man diese Abart der Gutta Percha, so wird sie zwar weich, aber sie klebt so sehr an, daß man sie in keine Form zu bringen im Stande ist und nach dem Erkalten fehlt es ihr an Zähigkeit **). Nach Scott bildet dieser erhärtete Saft rundliche Stücken von verschiedener Größe. Er löst sich in ätherischen Oelen, aber nicht in Alkohol und Wasser. Er brennt an der Luft mit heller, rauchender Flamme, schmilzt beim Erhitzen und bleibt dann mehr oder weniger klebrig. In Aether löst er sich leicht und kann durch Weingeist daraus gefällt werden. — Zu Palembang im holländischen Ostindien erhält man aus den Binnenländern eine andere Art — Getah-mala-buay — oft bis zu 10 Picols von einem Baume durch Einschnitte. Mit Gutta Percha gemischt soll sie zu vielen Dingen sehr nützlich sein. Adriani hat sie ***) näher untersucht. In warmem Wasser wurde sie weich und klebend; bei der Behandlung mit kochendem Wasser lieferte sie eine milchartige, neutral reagirende Flüssigkeit, die durch Alkohol gefällt wurde. Kochender Alkohol löste ein wachsartiges weißes Fett und Harz daraus auf, Aether gleichfalls ein Harz. Beim Filtriren einer Auflösung in Chloroform blieb ein schwarzer, in den gewöhnlichen Lösungsmitteln unlöslicher Farbestoff zurück, der beim Erhitzen ohne Rückstand verbrannte und vielleicht nichts Anderes ist als Ruß. Die Getah-mala-buay schmilzt erst bei 170° und zersetzt sich erst weit über diesen Punkt hinaus. Es destilliren hierbei dunkel gefärbte Oele über.

Seemann erwähnt in seinem Reiseberichte einer neuen Art Gutta Percha, die seiner Ansicht nach von einer Ficus stammend von Manilla nach Singapore gelangt war. Er meint, daß sie später wohl nach Europa kommen werde. — Mit gutem Erfolg wird bereits in England bei Gemischen Jintawan verarbeitet. Ueber diese Art der Gutta Percha ist jedoch nichts Näheres bekannt.

Auf der Londoner Ausstellung hatte Kerr aus Singapore Gutta Percha-Proben von der malayischen Halbinsel Johore ausgelegt, eben so auch Muster der Fabrikate, welche die Eingebornen daraus anfertigen, — eine Sammlung, der von der Jury die Preismedaille zuerkannt wurde. Der Oberst Bonner vom Ostindien-Haus hatte Proben ausgestellt, wie sie zuerst der ostindischen Gesellschaft von Montgomerie überreicht wurden, der dafür von der Gesellschaft zur Ermunterung der Künste und Gewerbe die goldene Medaille erhielt. Interessant war hierbei eine Probe von Gutta Trap — der Gutta Percha verwandt. Jetzt bedient man sich ihrer zur Bereitung von Vogelleim. Es soll der eingedickte Saft eines Artocarpus sein. Eben so könnten auch der Atti-Jegota — von Ficus racemosa Linn. — und der Manjegota — von Ficus indica Roab — aus Vizagapatam mit Vortheil als Surrogat für Kautschuk und Gutta Percha in den Handel kommen. W. B.

Gyrotrop, s. Inversor.

*) Jahrb. für prakt. Pharm. Bd. XXVII. S. 276.
**) Arch. d. Pharm. 2. R. Bd. LII. S. 178.
***) A. a. O.

Haarröhrchenwirkung, Capillarität (v. d. lat. capillus, Haar), Capillar-Attraction oder Anziehung, Haarröhrchenanziehung, Capillar-Depression oder Haarröhrchenabstoßung. (Attractio capillaris, Depressio capillaris, Capillarité, Attraction capillaire, Depression capillaire; Capillary attraction or attraction of capillary tubes, capillary depression.) Die Haarröhrchenwirkung besteht in der Erscheinung, daß eine Flüssigkeit in sehr engen Röhrchen, welche mit ihrer unteren Oeffnung in derselben stehen, im Widerspruche mit den sonstigen hydrostatischen Verhältnissen entweder unter oder über das Niveau der das Röhrchen umgebenden Flüssigkeit tritt. Taucht man z. B. ein Röhrchen von Glas in ein Gefäß mit Wasser, so wird dieses mit größerer oder geringerer Schnelligkeit, je nachdem das Röhrchen vorher schon befeuchtet war oder nicht, in demselben in die Höhe über das Niveau des Wassers im Gefäße steigen; stellt man dagegen den Versuch mit Quecksilber an, so bemerkt man, daß die Oberfläche des Quecksilbers in dem Röhrchen nicht so hoch steht, als das äußere Niveau. Im Allgemeinen: Ist die Flüssigkeit von der Art, daß sie das Röhrchen benetzt, so ist das innere Niveau höher als das äußere; wird hingegen das Röhrchen nicht benetzt, so ist das innere Niveau niedriger. Im ersteren Falle endigt das obere Ende des flüssigen Cylinders im Röhrchen in eine mit der Concavität gegen die Luft gekehrte Oberfläche, im anderen Falle wird dies Ende von einer nach außen convexen Fläche begrenzt. Hierbei bemerkt man noch, daß der Niveauunterschied um so bedeutender hervortritt, je enger das Röhrchen ist, so zwar, daß sich die Höhen über oder die Tiefen unter dem äußeren Niveau umgekehrt wie die Durchmesser der Röhrchen verhalten. Ferner zeigt sich eine Verringerung der Höhendifferenz mit steigender Temperatur.

Haarröhrchen werden diese Röhren genannt, weil die Erscheinung nur bei solchen Röhrchen auffallend hervortritt, deren Caliber sehr klein, haarfein ist.

Seit etwa zwei Jahrhunderten hat man angefangen dies Phänomen zu studiren. Aggiunti, Medikus und Leibarzt zu Florenz (gest. 1635) machte zuerst auf diese von dem gewöhnlichen Verhalten der Flüssigkeiten abweichende Erscheinung aufmerksam *). Nach ihm ist die Haarröhrchenwirkung untersucht worden von Fabry, Sturm, Rohault, Boyle, Sinclair, Mairan, Leuwenhoek, Is. Vossius, Borellius, Jac. Bernoulli, Hooke, Newton, Hawksbee, Carré, Geoffroy, Jurin, Bülfinger, Hamilton, Parkinson; indessen haben diese Untersuchungen nur historischen und insofern einen geringeren Werth, als von keinem die wahre Ursache erkannt wurde. In Betreff der thatsächlichen Verhältnisse verdient nur hervorgehoben zu werden, daß Vossius **) die deprimirende Haarröhrchenwirkung zwischen Glas und Quecksilber entdeckt hat; eben so stellte Sinclair ***) zuerst fest, daß das Röhrchen von der Flüssigkeit benetzt sein müsse, wenn das innere Niveau höher als das äußere sein solle; Hawksbee ****) beobachtete, daß die Flüssigkeit z. B.

---

*) La Lande, Dissert. sur la cause de l'élévation des liqueurs dans les tubes capillaires. Par. 1770.

**) De Nili et aliorum fluminum origine. Hag. Com. 1666. cap. 2.

***) Tractatus de gravitate. p. 161.

****) Phil. Trans. T. XXV. p. 2223. T. XXVI. p. 258.

Wasser in Haarröhrchen von demselben Durchmesser immer zu einerlei Höhe steigt, sie mögen aus dünnem oder sehr dickem Glase gefertigt sein, so daß hiernach die Masse der Röhrchen ohne Einfluß auf die Erscheinung ist, und Carré *) fand, daß eine deprimirende Wirkung bei Wasser stattfindet, so bald die innere Fläche des Glasröhrchens, wenn auch nur sehr dünn, mit Fett überzogen ist.

Mussichenbroek **) und La Lande ***) gaben die meisten zusammenhängenden Beobachtungen; Weitbrecht ****) machte darauf aufmerksam, daß nicht nur die Anziehung des Glases gegen die Wassertheilchen, sondern auch die Cohäsion der letzteren von Einfluß sei; Clairaut *****) lieferte die erste ausführliche Berechnung der in Rede stehenden Erscheinung, doch erklärte seine Theorie nicht, warum die Höhen, zu welchen eine Flüssigkeit in Röhrchen von gleichem Stoffe steigt, den Durchmessern der Röhrchen umgekehrt proportional sind. Auch ist seine Annahme nicht ganz richtig, daß die Anziehung der Haarröhrchen-Wände bis in die Axe des Röhrchens wirke.

Eine schätzbare Abhandlung über die Haarröhrchenwirkung haben wir von Th. Young †); indessen traten seine Untersuchungen zurück gegen die fast gleichzeitigen von Laplace ††). Young vergleicht die Haarröhrchenkraft mit der Spannung einer Oberfläche, welche die flüssigen Körper umhülle, und findet, indem er auf jene Kraft die Resultate über die Tension der Oberflächen anwendet, daß man die Krümmung der flüssigen Oberflächen nach zwei auf einander senkrechten Richtungen in Betrachtung ziehen müsse. Hierbei nimmt er an, daß bei demselben Flüssigen und bei Röhren aus gleicher Materie, die flüssigen Oberflächen mit der Röhrenwand, da, wo sie mit ihr in Berührung kommen, einerlei Winkel machen, eine Voraussetzung, welche aus dem Gesetze einer mit der Entfernung schnell abnehmenden Attraction der kleinsten Theilchen abzuleiten gewesen wäre.

Auf die Theorie von Laplace wird in Folgendem näher eingegangen werden. Im Jahre 1819 gab Rudberg eine mathematische Theorie, welche auf die Laplace'schen Grundsätze sich stützt †††). Später nahm Ivory ††††) und bald darauf Gauß †††††) den Gegenstand wieder auf. Der Letztere

---

*) Mém. de Par. 1705. p. 245.

**) Dissert. Phys. exper. de tubis capill. et attractione speculor. plan. vitreorum, olim L. B. editae, nunc Viennae 1753; vergl. auch: Introduct. T. I. p. 368. §. 1045.

***) Die bereits citirte Dissert.; vergl. auch: Journ. des Sav. 1768. Nov. u. Tablettes des Sciences. T. I. p. 78.

****) Comment. Petrop. T. VIII. p. 261. T. IX. p. 275.

*****) De la figure de la Terre. Par. 1743.

†) Phil. Transact. 1805. T. I. p. 65.

††) Théorie de l'action capillaire par Laplace. Par. 1806. Supplément à la Théorie de l'act. cap. 1807. Vergl. Journ. de Ph. T. LXII. p. 120; T. LXIII. p. 474; T. LXV. p. 88. und Biot in: Traité. T. I. p. 437. Gilb. Ann. Bd. XXV. S. 233; besonders Gilbert und Brandes in Gilb. Ann. Bd. XXXIII. Eine elementare Darstellung haben geliefert: Pessuti in: Atti della Soc. Ital. T. XIV. und Kries in: Gehler, Journ. Bd. IX. S. 104.

†††) Denkschriften der Königl. Soc. der Wissensch. zu Stockholm. 1819.

††††) Phil. Magaz. and Ann. of Philos. Jan. 1828.

†††††) Principia generalia theoriae figurae fluidorum in statu aequilibrii, Gott. 1830. Auszugsweise in: Bull. univ. 1830. oct. p. 241. Vergl. auch: Dove's Repertorium. Bd. V. S. 49.

bildete die Gleichgewichtsgleichungen des Problems auf eine andere Weise als Laplace und begründete sie strenger, indem er namentlich aus der Wirkung der Gefäßtheilchen auf die Flüssigkeitstheilchen mathematisch die für die Gleichungen wesentliche Bedingung herleitete, daß die Berührungsebenen an der freien Oberfläche der Flüssigkeit und die an der Gefäßwand an der Berührungsgrenze von Gefäß und Flüssigkeit einen constanten Winkel mit einander bilden.

Hierauf folgt Poisson *), der gegen Laplace und Gauß den Einwurf geltend macht, daß sie eine der physischen Bedingungen des Problems übersehen hätten, deren Betrachtung wesentlich sei, nämlich die rasche Variation in der Dichtigkeit, welche die Flüssigkeit bei ihrer freien Oberfläche und bei der Wand der Röhre erfährt. Mit Berücksichtigung dieses Umstandes leitet er die Gleichungen ab für die gemeinschaftliche Oberfläche zweier in einer beliebigen Röhre übereinanderstehenden Flüssigkeiten und für ihren Umriß, worunter dann als besonderer Fall die Gleichungen für die freie Oberfläche einer einzigen Flüssigkeit enthalten sind. Wie wenig indessen die Behauptung von Poisson, daß aus der Theorie von Laplace die Erscheinungen der Capillarität gar nicht folgen, als begründet anerkannt werden kann, hat Minding gezeigt **).

Außerdem sind noch theoretische Untersuchungen angestellt von Challis ***), Girard ****) und Mile *****).

Aus den oben angeführten Beobachtungen von Hawksbee und Carré ergiebt sich, daß die Haarröhrchenerscheinungen lediglich abhängig sein können von Kräften, welche in unmeßbar kleinen Entfernungen oder in der Berührung wirken. Die zwei Hauptkräfte sind mithin die überall, wo die kleinsten Theilchen der ponderablen Materie einander berühren, sich zeigende Adhäsion und Cohäsion. (Vergl. besonders Bd. I. S. 112 u. S. 977.) Denken wir uns ein Röhrchen in eine Flüssigkeit getaucht, von welcher es benetzt wird, so werden die Röhrenwand und die ihr zunächst liegenden Theilchen der Flüssigkeit einander anziehen, dergestalt, daß eine dünne Schicht der Flüssigkeit an der Röhrenwand haftet. Diese dünne Schicht läßt sich selbst als eine Röhre betrachten, welche eine zweite, obgleich niedrigere, heraufzieht, die wieder eine dritte heben kann u. s. f. Jede folgende Schicht ist niedriger, als die vorhergehende. Auf diese Weise steigt die Flüssigkeit an der Röhrenwand hinauf und bildet einen sogenannten concaven Meniscus.

Es sei ABCD auf umstehender Figur ein mit Wasser bis an AB gefülltes Gefäß und in dasselbe ein an beiden Enden offenes Haarröhrchen EF mit seinem unteren Ende eingetaucht. Im Zustande des Gleichgewichtes erleidet nun mitten in einer Flüssigkeit jedes Theilchen nach allen Seiten hin gleich starke Einwirkungen, an der Oberfläche aber ist dies nicht der Fall, insofern ein hier liegendes

---

*) Nouvelle théorie de l'action capillaire. Par. 1831, dargestellt von Link in Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 270 u. Bd. XXVII. S. 193.

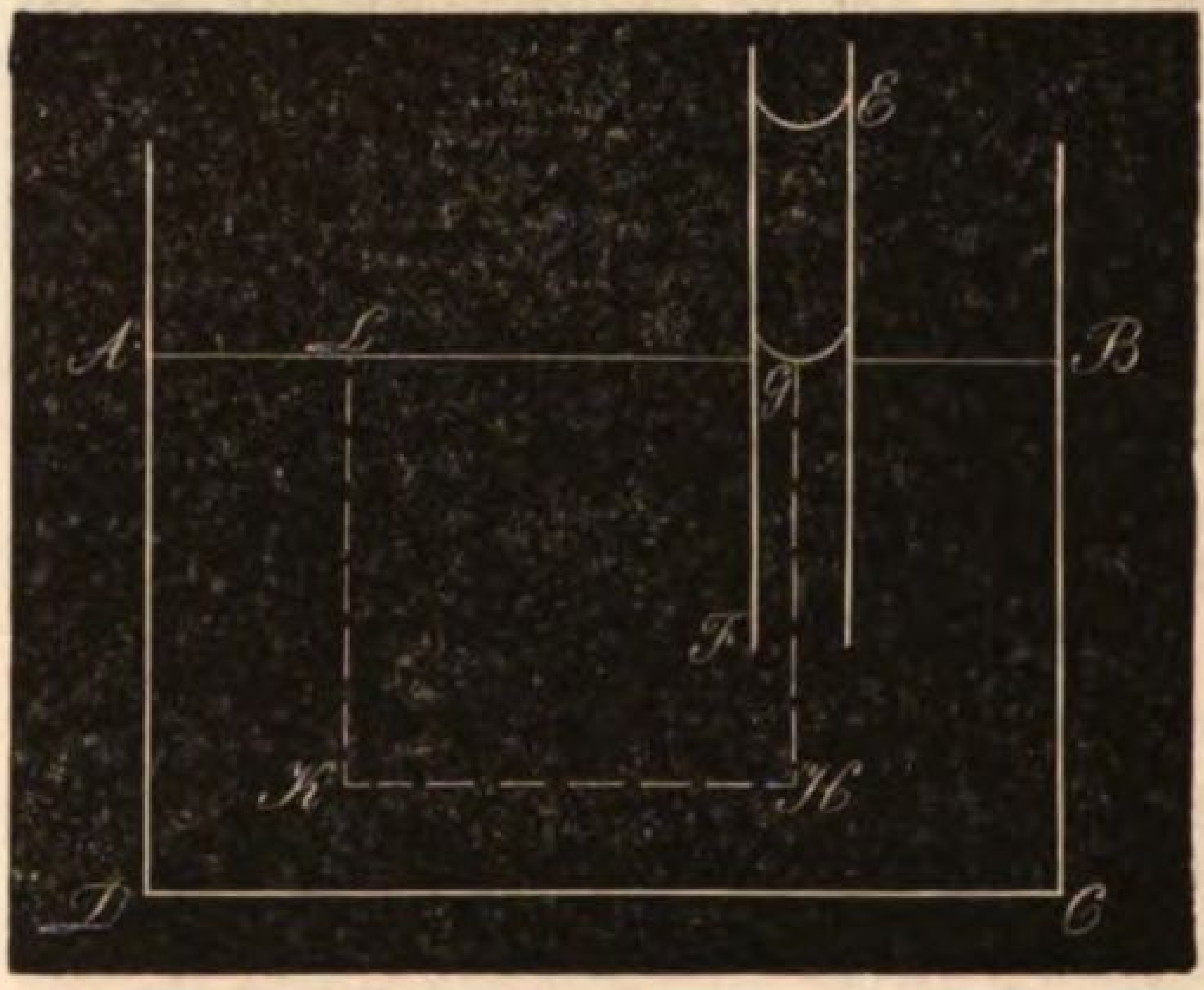
**) Dove's Repertor. der Physik Bd. V. S. 64—66.

***) On capillary attraction and the molecular forces of fluids. Lond. and Edinb. Phil. Mag. 1836. Febr.

****) Mémoire sur l'attraction qui se manifeste à des distances sensibles entre les surfaces mouillées par un liquide dans lequel elles sont submergées. Mém. de l'Acad. de l'Instit. T. XI. p. 59.

*****) Poggend. Ann. Bd. XLV. S. 287 u. 501.

Theilchen wohl von den unter ihm liegenden Theilchen angezogen wird, nach oben hin jedoch keiner gleichen Anziehung unterworfen ist. Hieraus erwächst ein Druck nach unten hin, welcher die Wirkung der Schwere auf die einzelnen Flüssigkeitstheilchen verstärkt. Sobald nun das Röhrchen in das Wasser eingetaucht ist, wird sich, wie oben nachgewiesen ist, die Flüssigkeit im Innern des Röhrchens rings am Rande erheben, wie die Figur bei G zeigt. Der tiefste Punkt G des concaven Meniscus ist nun rings von höher gelegenen Theilchen umgeben, welche nach oben ziehen und folglich dem nach unten gerichteten Drucke der Theilchen unter G entgegenwirken. Denkt man sich durch diesen Punkt G und durch die Axe der Röhre einen Wasserfaden, in einem unendlich engen Kanale GHKL eingeschlossen, dessen Wände selbst aus Wasser bestehen, so sollte die Wassersäule GH der gleich hohen LK das Gleichgewicht halten. Weil aber die Wassertheilchen in L stärker niedergezogen werden und deshalb stärker auf die tiefer gelegenen drücken als die Wassertheilchen in G, so kann unmöglich Gleichgewicht bestehen, sondern die Wassertheilchen in G müssen steigen, bis dem Ueberschusse des Druckes in L durch das Gewicht der gehobenen Wassersäule das Gleichgewicht gehalten wird. Was von dem Theilchen G, gilt entsprechender Weise auch von jedem anderen Punkte des concaven Meniscus, woraus sich die Erhebung einer Wassersäule ergiebt, welche mit dem Röhrchen gleichen Durchmesser hat.



Das Gesetz, nach welchem die Höhe, um welche sich das Wasser in Haarröhrchen von verschiedenen Halbmessern erhebt, bestimmt wird, hängt von der Attraction des Meniscus ab und folglich von der Gestalt der Oberfläche, so daß hier, wie bei der Figur der Planeten, Gestalt und Gesammt-Attraction gegenseitig durch einander bestimmt werden. Die hierauf bezüglichen Untersuchungen hat Laplace durchgeführt *). Der analytische Ausdruck, welchen er erhält, besteht aus zwei Gliedern (a. a. O. S. 16 und 42). Das erste Glied, welches sehr viel größer ist, als das zweite, drückt die Wirkung der durch eine ebene Oberfläche begrenzten Masse aus, das zweite Glied den Theil der Wirkung, welcher von der Sphäricität der Oberfläche herrührt. Dieses Glied ist negativ, wenn die Oberfläche hohl, positiv, wenn sie erhaben ist. In beiden Fällen ist es dem Halbmesser der sphärischen Oberfläche verkehrt proportional. Da also die Ungleichheit im Drucke bei G und L im verkehrten Verhältnisse mit dem Durchmesser des Haarröhrchens steht, so muß mithin auch der Stand, den eine Flüssigkeit in dem Röhrchen über dem äußeren Niveau einnimmt, demselben Verhältnisse entsprechen (vergl. a. a. O. S. 21 und 62).

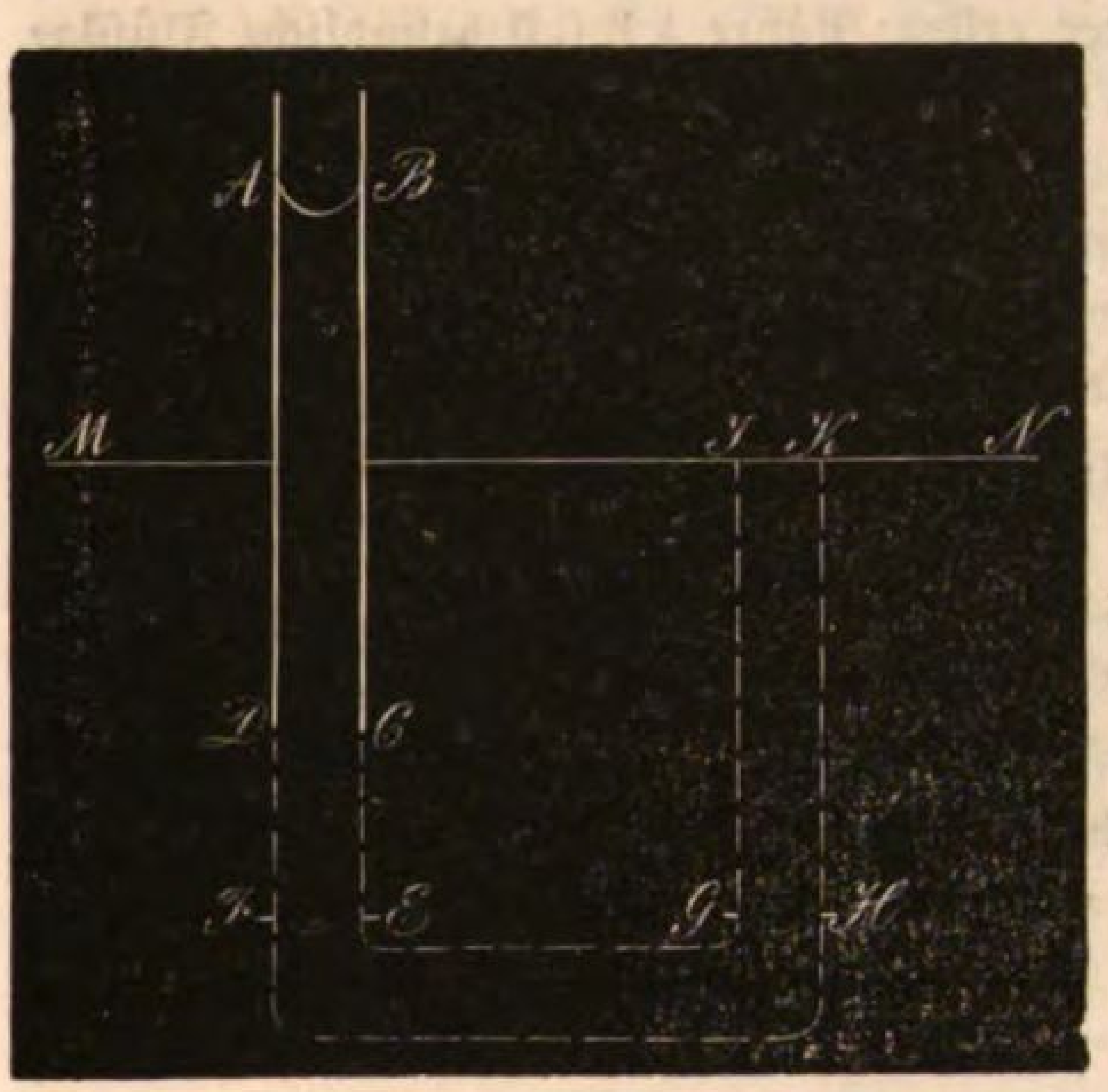
---

*) Gilb. Ann. Bd. XXXIII. S. 38 ff.

Quecksilber steht in gewöhnlichen Haarröhrchen aus Glas mit converer Oberfläche. In diesem Falle ist die Einwirkung der flüssigen Oberfläche im Röhrchen auf dem unendlich engen Kanal stärker, als die Einwirkung der ebenen Oberfläche im Gefäße. Daher muß das Quecksilber im Röhrchen unter dem Niveau um eine Größe stehen, welche dem Unterschiede beider Wirkungen entspricht, und daher wieder dem Durchmesser des Röhrchens verkehrt proportional sein.

Bei der eben erwähnten Laplace'schen Untersuchung gründete sich Alles auf die Betrachtung der Oberfläche, welche das Flüssige in einem haarröhrchenartigen Raume annimmt, und auf die Bedingungen des Gleichgewichts eines Flüssigen, welches in einem unendlich engen Kanale enthalten ist, dessen eines Ende sich in dieser Oberfläche befindet, und dessen anderes Ende in der Oberfläche des unbegrenzten Flüssigen liegt, in welches der haarröhrchenartige Raum eingetaucht ist. In dem Supplement betrachtet Laplace alle Kräfte, welche das Flüssige zu heben oder niederzudrücken streben, und sucht dieselben direct zu bestimmen.

Es sei ABCD wieder der Durchschnitt eines vertical im Wasser stehenden cylindrischen oder prismatischen Haarröhrchens, MN die horizontale Oberfläche des Wassers und AB die Oberfläche der im Röhrchen gehobenen Wassersäule. Daß und warum die Flüssigkeit in dem Röhrchen emporsteigen müsse, haben wir im Allgemeinen schon oben gesehen. Welches sind nun die Kräfte im Besonderen?



Wir wollen uns an dem Ende der eingetauchten Röhre ABCD eine blos imaginäre Fortsetzung DCJK dieser Röhre denken, so nämlich, daß die unendlich dünnen Wände dieser zweiten Röhre die Verlängerung der inneren Oberfläche der ersten sind, und daß diese Wände selbst gar nicht auf das Flüssige wirken, folglich die Einwirkungen der ersten Röhre ABCD und des Flüssigen gegen einander auf keine Art stören. Diese zweite Röhre sei anfangs vertical, krümme sich dann horizontal und nehme dann die verticale Richtung wieder an, behalte dabei aber überall einerlei Figur und Weite.

Das in dem ersten senkrechten Arme DCEF der zweiten Röhre enthaltene Flüssige wird vertical niederwärts gezogen: 1) durch sich selbst, und 2) durch das sie umgebende Flüssige; aber beide Attractionen werden aufgehoben durch die ähnlichen Attractionen, welche auf das Flüssige in dem anderen Arme JHKG dieser Röhre wirken, weshalb man hier von ihnen absehen kann. Es wird aber 3) das in DCEF enthaltene Flüssige vertical aufwärts gezogen durch das Flüssige in der ersten Röhre A BCD. Diese Attraction wird jedoch ebenfalls dadurch beseitigt, daß jenes Flüssige dieses letztere mit eben der Kraft herabwärts zieht, und es kommen daher auch hier diese beiden gegenseitigen Anziehungen nicht in Rechnung. Endlich wird 4) das Flüssige in dem Schenkel DCEF der zweiten Röhre

vertical aufwärts gezogen durch die Röhre ABCD selbst, und es entsteht dadurch in diesem Flüssigen eine senkrecht aufwärts gerichtete Kraft, die wir = P setzen wollen. Diese Kraft trägt wirklich dazu bei, das in der ersten Röhre ABCD erhobene Flüssige über dem Niveau des umgebenden Flüssigen zu erhalten.

Was die Kräfte betrifft, die auf das in der ersten Röhre ABCD enthaltene Flüssige wirken, so finden an dem unteren Theile derselben folgende Attractionen statt: 1) die Anziehung, welche das Flüssige auf sich selbst äußert; sie kommt indessen hier nicht in Rechnung, weil diese gegenseitigen Anziehungen der Theilchen einem Körper keine Bewegung zu ertheilen vermögen, wenn er fest ist, und man unbeschadet des Gleichgewichts sich denken kann, das Wasser der ersten Röhre sei fest geworden. — 2) Das in der unteren Röhre enthaltene Flüssige zieht die flüssige Masse niederwärts; aber diese Anziehung wird durch die entgegengesetzte des oberen Flüssigen aufgehoben. — 3) Das die untere Röhre umgebende Liquidum zieht das in der ersten Röhre ABCD enthaltene Flüssige senkrecht herabwärts; und diese Kraft kommt wirklich in Rechnung. Wir wollen sie = — P′ setzen, da sie, als der vorhin gefundenen entgegen gesetzt wirkend, mit — bezeichnet werden muß. — 4) Zu diesen Kräften kommt endlich noch eine; es wird nämlich auch das in der ersten Röhre ABCD befindliche Flüssige von dieser Röhre selbst senkrecht aufwärts gezogen, und zwar mit einer Kraft, welche gleichfalls = P ist, d. h. gerade so groß, als die Attraction, welche eben diese Röhre auf das Flüssige in der zweiten Röhre ausübt.

Hiernach ist also die gesammte verticale Kraft, welche das in dem ersten Arme ABEF des Kanals ABJK enthaltene Flüssige aufwärts zieht = 2P—P′.

Jedenfalls ist die Kraft P dem Umfange des Querschnittes der Röhre proportional, was nicht minder von der Kraft P^1 gilt. Ist daher dieser Umfang gleich c, so hat man $P = pc$ und $P' = p'c$, wenn p und p′ zwei Factoren sind, welche nur von der Materie des Rohres und der Flüssigkeit abhängen. Bezeichnet man ferner den Flächeninhalt des Querschnitts durch α, die Höhe der Säule ABCD ohne Rücksicht auf den Meniscus durch h, das specifische Gewicht der Flüssigkeit durch s, so ist das Gewicht der Säule $= \alpha h s$. Die erhaltenen Werthe in die obige Gleichung substituirt geben

$$c\,(2p - p') = \alpha h s,$$

also $h = \dfrac{c\,(2p - p')}{\alpha s}$, eine Formel, welche für jede Flüssigkeit gilt, wenn man für s ihr spec. Gewicht setzt.

Aus dieser Formel sieht man, daß h nur dann einen positiven Werth erhält, wenn $2p > p'$ ist, oder wenn das Doppelte der Anziehung der Röhrenwand gegen die Flüssigkeitstheilchen mehr beträgt als die Anziehung dieser Theilchen unter einander. Also nur in dem Falle, daß die Flüssigkeit die Röhrenwand benetzt, findet eine Erhebung statt. Hätte man $2p = p'$, so wäre $h = o$, d. h. die Flüssigkeit würde sich so verhalten, als ob keine Molecularwirkung zwischen ihr und der Röhrenwand stattfände. Ist aber $2p < p'$, d. h. ist die Cohäsion der Flüssigkeit größer als das Doppelte der Anziehung zwischen ihr und der Röhre, so bekommt h einen negativen Werth, was eine Senkung der Flüssigkeit andeutet.

Ist der Querschnitt des Röhrchens ein Kreis vom Durchmesser d, also das Röhrchen selbst ein Cylinder, dann ist bekanntlich $c = \pi d$, $\alpha = {}^1/_4\,\pi d^2$, daher

$$h = \frac{4\,(2p - p')}{d\,s} = \frac{A}{d\,s},$$

sofern man der Kürze halber den Zähler des Bruchs $= A$ setzt. Nimmt man nun ein anderes Röhrchen von demselben Stoffe, aber verschiedenem Durchmesser d', so bleibt zwar der Werth von A unverändert, aber die Höhe der Säule ist jetzt

$$h' = \frac{A}{d'\,s}.$$

Aus beiden Ausdrücken entsteht die Proportion

$$h : h' = d' : d,$$

d. h. die Höhen der gehobenen oder herabgedrückten Säulen verhalten sich bei sonst gleichen Umständen umgekehrt wie die Durchmesser der Röhren.

Ist das Haarröhrchen prismatisch und zwar der Querschnitt ein Rechteck von der Breite b und der Dicke d, dann ist bekanntlich der Umfang $c = 2\,(b + d)$, der Flächeninhalt des Querschnitts aber $\alpha = b\,d$, also wird

$$h = \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{s} \cdot \frac{b + d}{b\,d} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{s} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{b}\right).$$

Eben so erhält man für ein anderes rechteckiges Röhrchen

$$h' = \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{s} \cdot \frac{b' + d'}{b'\,d'} \text{ und folglich:}$$

$$h : h' = \frac{b'\,d'}{b' + d'} : \frac{b\,d}{b + d},$$

d. h. die Höhen verhalten sich umgekehrt, wie die Quotienten aus den Umfängen in die Querschnitte der Röhrchen.

Sind die Querschnitte den prismatischen Röhrchen ähnlich, so sind die Höhen den gleichgelegenen Seiten umgekehrt proportional. Bei rechteckigen Röhrchen z. B. ist dann $b : b' = d : d'$, also auch:

$$b + d : b' + d' = b : b' = d : d',$$

also

$$h : h' = \frac{b'\,d'}{b'} : \frac{b\,d}{b} = d' : d = b' : b.$$

Hat man statt eines prismatischen Röhrchens zwei einander parallele Platten, die in der Entfernung d einander gegenüberstehen, so wird in dem Ausdrucke für h bei rechteckigen Röhrchen $\frac{1}{b} = 0$, also:

$$h = \frac{A}{2 \cdot s \cdot d}, \text{ eben so } h' = \frac{A}{2 \cdot s \cdot d'},$$

folglich $h : h' = d' : d$.

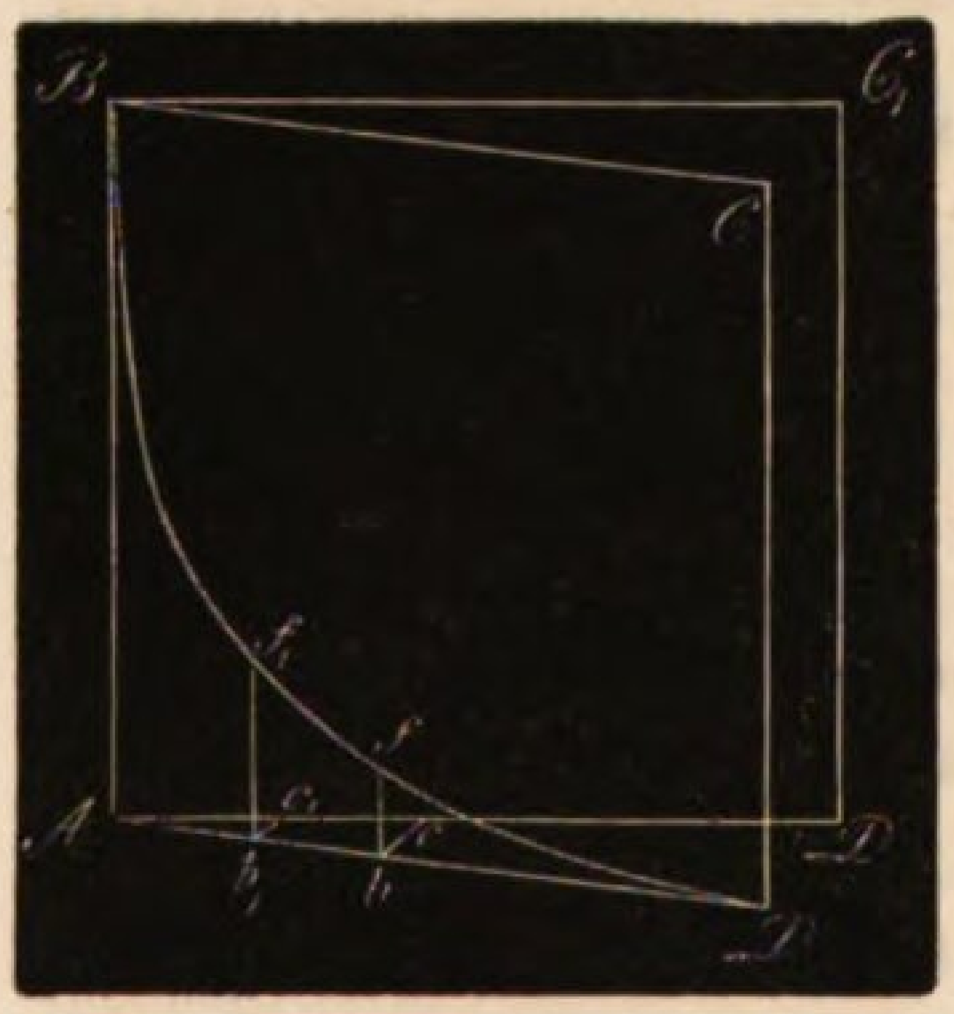
Da wir für einen kreisförmigen Querschnitt $h = \frac{A}{d \cdot s}$ gefunden haben, so ergiebt sich, daß die Höhe der zwischen zwei parallelen Platten gehobenen oder herabgedrückten Säulen die Hälfte derjenigen ist, die man an einem cylindrischen Haarröhrchen beobachtet, dessen Durchmesser gleich ist der Entfernung der beiden Platten.

In einem ringförmigen Raume, den man z. B. erhält, wenn man in eine Röhre eine zweite so steckt, daß ihre Axen zusammenfallen, ist die Höhe der gehobenen oder herabgedrückten Säule eben so groß wie in einem cylindrischen Röhrchen, dessen Halbmesser gleich ist der Dicke des ringförmigen Raumes. Es ist dann $c = 2(R + r)\pi$, wenn R der Halbmesser des weiteren und r der des engeren Röhrchens ist, und $\alpha = (R^2 - r^2)\pi$, also:

$h = \frac{1}{2}\frac{A}{(R-r)s}$, folglich, da in einem cylindrischen Röhrchen $h = \frac{A}{ds}$ ist, der Halbmesser des entsprechenden cylindrischen Röhrchens $= R - r$.

Taucht man zwei ebene Glasplatten, welche sich in einer verticalen Linie schneiden und einen sehr kleinen Winkel mit einander machen, in eine benetzende Flüssigkeit, so erhebt sich dieselbe zwischen den Platten dergestalt, daß die obersten Stellen in der Krümmung einer gleichseitigen Hyperbel liegen, deren Asymptoten einerseits die Durchschnittskante der Platten, andererseits aber das Niveau der Flüssigkeit ist.

Es sei ABCD die eine und ABC_1D_1 die andere Platte und DAD_1 der Winkel, unter welchem sie zu einander geneigt sind; bc = e sei die Entfernung zweier im Niveau einander gerade gegenüberliegenden Stellen, welche den Durchmesser eines Haarröhrchens vertritt, welches man sich an dieser Stelle denken kann, oder die Entfernung zweier einander parallel gegenüberstehender Platten, bf = h die an dieser Stelle gehobene Flüssigkeitssäule und Ab = x. Für einen anderen Punkt b_1 sei $b_1c_1 = e_1$; $b_1f_1 = h_1$ und $Ab_1 = x_1$; so ist $Ab : Ab_1 = x : x_1 = e : e_1$; also $x = n.e$, und



$bf : b_1f_1 = h : h_1 = e_1 : e$, also $e = \frac{m}{h}$, wo n und m constante Größen sind; folglich ist

$x = \frac{n.m}{h}$ oder $x.h = m.n =$ einer Constante, d. h. die Curve ist eine Hyperbel, deren Asymptoten AB und AD sind.

In diesen Formeln bedeutet h die mittlere Höhe der verschiedenen Punkte der Oberfläche; diese Höhe ist also verschieden von der Höhe desjenigen Punktes der Oberfläche des Flüssigen, welcher in der Axe einer verticalen cylindrischen Röhre liegt, und diese letztere Höhe ist nicht genau dem Durchmesser der Röhre umgekehrt proportional. Wenn das Flüssige die Wände der Röhre vollkommen naß macht, so muß man, um eine Größe zu erhalten, die dem Durchmesser der Röhre umgekehrt proportional ist, zu der Höhe in der Axe der Röhre noch ein Sechstel des Durchmessers der Röhre addiren.

Ist nämlich die Höhe in der Axe der Röhre = l und der Halbmesser der Röhre = r, so ist das Volumen des bis zum niedrigsten Punkte der Oberfläche erhobenen Flüssigen $= \pi r^2 l$. Nimmt man nun an, der oberhalb dieses Punktes liegende Meniscus sei durch eine hohle Halbkugel begrenzt, so ist das Volumen

des Meniscus $= \frac{1}{3} \pi r^3$, also das Volumen der ganzen Säule $= \pi r^2 (l + \frac{1}{3} r)$. Dieses Volumen muß dem Umfange der Basis $2 \pi r$ proportional sein; also muß $r (l + \frac{1}{3} r)$ eine in verschiedenen cylindrischen Röhren constante Größe sein, und folglich ist die Größe $l + \frac{1}{3} r$ dem Durchmesser der Röhre umgekehrt proportional.

Im Gegensatze zu den mathematischen Theorien, namentlich der von Laplace, hat Joh. Mile eine mehr rein physikalische aufgestellt. Man habe, sagt er, zwar eingesehen, daß Attraction der Gefäßwände und der Flüssigkeitsmolecüle unter sich, in nicht merkbarer Ferne, die Grundursache sein müsse, ohne jedoch das wie zu erklären.

Um auch dies zu erklären, betrachtet er die in den Flüssigkeitsmolecülen selbst wirksamen Kräfte, und indem er den Nachweis führt, daß in der Mitte einer Flüssigkeit, wo jedes Molecül von anderen umgeben ist, alle ihre gegenseitige Attraction und Repulsion unter einander gleichmäßig austauschen, so daß ein inneres Molecül nach allen Richtungen gleich stark angezogen und abgestoßen werde, mithin ruhen müsse, kommt er zu dem Schlusse, daß auf der Oberfläche, sobald diese keine Ebene mehr bildet, die Molecüle in ein Mißverhältniß gegen einander gerathen. Dies muß ungleiche Spannungen und damit ein Bestreben, in die gewöhnliche Lage mit gleichen Abständen von einander zurückzukehren, hervorbringen. Dieses kann wieder nicht gleichgültig für die innere, passiv sich verhaltende Masse sein; sie muß also die Bewegungen der oberflächlichen Schicht theilen. Nur von der Oberfläche also und nur, wenn diese keine Ebene, sondern eine Krümmung bildet, kann die Kraft ausgehen, durch welche auch secundär Verschiebungen der inneren Molecüle, in Folge eines Drucks oder Zuges, in der Richtung von oder nach der Oberfläche passiv erfolgen müssen. Nur aus solchen zweifachen Bewegungen der Molecüle — primär activen an der Oberfläche und secundär passiven im Innern — werden von Mile die capillaren Phänomene erklärt. Die Capillarität scheint ihm weiter nichts, als eine mechanische moleculare Thätigkeit zu sein, die den Tropfen und die Blase — von ihm negativer Tropfen genannt — bildet. Er sagt: „Capillare Phänomene sind nur durch den Einfluß eines engen Raumes und Adhäsion an die Gefäße modificirte partielle Tropfen- oder Blasenbildungen und davon abhängende Wirkungen. Aus dem ersten erfolgt capillare Depression, aus dem zweiten Elevation."

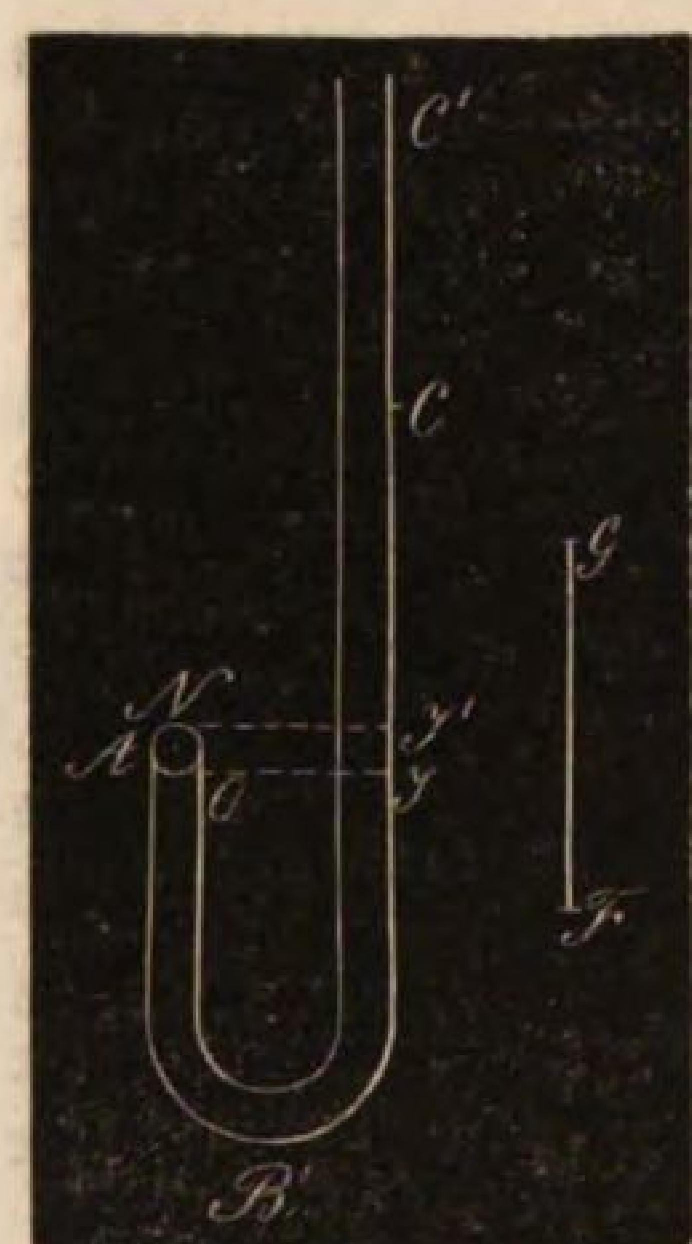
Einen Auszug aus der langen Abhandlung zu geben, darauf müssen wir hier verzichten. Die gegebenen Andeutungen des Princips, von welchem Mile ausgeht, mögen genügen, im Uebrigen verweisen wir auf die bereits oben angegebene Quelle. Vergleicht man aber die Laplace'sche Theorie genauer mit den Ansichten von Mile, so wird man wohl erkennen, daß das Wahre in diesen keineswegs der ersteren widerspricht, sondern sich mit derselben recht gut vereinbaren läßt.

Unter den Versuchen, welche Laplace anstellte, sind folgende besonders interessant:

Man tauche ein Haarröhrchen, dessen Durchmesser bekannt ist, in Wasser bis zu einer bestimmten Tiefe; verschließe, ehe man es herauszieht, die untere Oeffnung

mit dem Finger und wische die äußere Oberfläche leicht ab, nachdem man es herausgezogen hat. Nimmt man nun den Finger fort, so fließt Wasser heraus und bildet am unteren Ende des Röhrchens einen Wassertropfen; doch bleibt immer in dem Röhrchen eine Wassersäule zurück, die in ihrer Länge die größte Höhe übertrifft, bis zu welcher Wasser im Röhrchen sich in dem Falle erhebt, wo das untere Ende desselben in diese Flüssigkeit eingetaucht ist. Diese größere Länge rührt von der Einwirkung her, welche der Tropfen vermöge seiner Convexität auf die Wassersäule äußert, und sie ist desto bedeutender, einen je kleineren Durchmesser der Tropfen hat *).

Ferner: Taucht man ein heberförmiges Glasröhrchen mit ungleichen Schenkeln, wie beistehende Figur A B C, senkrecht so tief in Wasser, daß der kürzere Schenkel A B sich ganz untergetaucht befindet, so steigt das Wasser im längeren Schenkel über das Niveau um eine gewisse Höhe F G an. Zieht man dann das Röhrchen aus dem Wasser heraus, so bildet sich an der Oeffnung A ein Tröpfchen A N O, und denkt man sich, wenn das Wasser in dem längeren Schenkel einen bleibenden Stand angenommen hat, durch den Gipfel N des Tröpfchens die Horizontallinie N J′ gezogen, so ist nun die Wassersäule J′ C′, welche in dem längeren Schenkel über diese Horizontallinie steht, größer als F G. Nimmt man das Tröpfchen mit dem Finger fort und so die folgenden, die sich in A bilden, so wird diese Säule immer kleiner; kommt man endlich dahin, daß das Wasser in A mit ebener Oberfläche steht, so ist diese Säule genau gleich F G; und bringt man dann aufs Neue ein Tröpfchen auf A und so mehrere, so daß die Oberfläche hier wieder convex wird, so steigt das Wasser in dem Schenkel B C aufs Neue höher an und die vorigen Erscheinungen kommen in umgekehrter Ordnung wieder. Die Größe, um welche bei diesen Versuchen die in dem Schenkel B C gehobene Wassersäule die Höhe F G übertrifft, scheint der Convexität der Oberfläche A N O zu entsprechen **).



Sehr leicht erklärt sich aus den Gesetzen der Haarröhrchenwirkung, warum man durch ein passend weites Glasröhrchen, das heberförmig gebogen ist, ein ganzes Gefäß auslaufen lassen kann, ohne daß man nöthig hat, das Röhrchen vorher mit Flüssigkeit zu füllen. Es kommt darauf an, daß die Heberkrümmung von dem Niveau noch nicht um die Höhe entfernt ist, um welche die Flüssigkeit in dem eingetauchten Schenkel durch die Capillarität emporsteigt.

Um die Höhe der Flüssigkeitssäule in einem Haarröhrchen genau zu messen, bedient man sich zweckmäßig eines Verfahrens von Gay-Lussac. In einer etwas weiten Glasröhre, die auf einem Fuße mit Stellschrauben ruht, befindet sich bis zu einer gewissen Höhe die betreffende Flüssigkeit. Das Haarröhrchen

---

*) Gilb. Ann. Bd. XXXIII. S. 23.
**) Gilb. Ann. Bd. XXXIII. S. 24, vergl. auch S. 157.

reicht durch ein Plättchen, welches auf dem Rande des Glasgefäßes liegt, in die Flüssigkeit. In einiger Entfernung von diesem Apparate wird vertical ein getheilter Stab aufgestellt, an welchem sich ein Fernrohr mit einer Mikrometerschraube auf- und niederschieben läßt. Man stellt nun das Fernrohr zuerst so ein, daß der horizontale Theil seines Fadenkreuzes gerade den Gipfel der Flüssigkeit im Röhrchen berührt. Hierauf rückt man die Platte mit dem Haarröhrchen an den Rand des Glasgefäßes und bringt an ihre Stelle ein anderes Plättchen, durch welches ein an seinem oberen Theile mit einem Schraubengewinde versehenes Stäbchen geht. Dieses Stäbchen dreht man so, daß seine untere Spitze gerade die Flüssigkeit im Gefäße berührt. Nachdem der erste Stand des Fernrohres bemerkt ist, rückt man dasselbe so weit herunter, bis der horizontale Faden durch die unterste Spitze des Stäbchens geht. Liest man nun die Höhendifferenz dieser beiden Stellungen des Fernrohrs am getheilten Stabe ab, so hat man die gesuchte Höhe der flüssigen Säule im Haarröhrchen *).

Die Arbeit von Laplace ist reich an genauen Versuchen, angestellt vorzugsweise von Gay-Lussac, Haüy und Tremery. Wir führen hier nur an:

Wasser steigt in einem Haarröhrchen von Glas zu 1 Millimeter Durchmesser
im Mittel nach Haüy und Tremery 13,569 mm,
nach Newton . . . . 12,8664 mm,
Orangenöl nach Haüy und Tremery . . 6,7398 mm,

Die Depression des Quecksilbers beträgt in Glasröhrchen

bei 1 mm Durchmesser	7,333 mm	nach Haüy u. Tremery,
bei 2 mm "	4,454 mm	nach Laplace,
bei 2 mm "	4,887 mm	nach Young,
bei 2 mm "	4,888 mm	nach Toory,
bei 2 mm "	4,472 mm	nach Cavendish.

Das Nähere über die Depression des Quecksilbers findet sich im Art. Barometer Bd. I. S. 728 ff.; wir geben daher in dem Folgenden nur noch die Resultate über capillares Ansteigen, worüber zahlreiche Versuche vorliegen.

Link **) hat derartige Versuche angestellt zwischen parallelen Platten, die er vorher durch Eintauchen in die Flüssigkeit benetzt hatte. Das Ergebniß dieser Versuche s. im Art. Adhäsion Bd. I. S. 113.

Wir haben oben gefunden, daß für die Höhe in der Axe der Röhre = l die Größe $r\left(l + \frac{1}{3}r\right)$ constant sein muß in verschiedenen cylindrischen Röhren. Frankenheim ***) hat diese Constante für verschiedene chemisch reine Flüssigkeiten, deren Dichtigkeit er durch Wägung mittelst einer Glaskugel bestimmte, zu ermitteln gesucht. Wir bezeichnen diese Constante in der folgenden Tabelle mit C.

*) Biot, Traité. T. I. p. 441.
**) Poggend. Ann. Bd. XXXI. S. 593.
***) Die Lehre von der Cohäsion. Breslau 1835.

Flüssigkeiten	Temperat. Cels.	Spec. Gew.	C.
Wasser	0°	1,000	15,30
=	6,5	0,999	14,84
Schwefelsäure	14,5	1,849	6,85
=	17,5	1,782	8,30
=	—	1,609	9,40
=	—	1,522	10,00
=	—	1,382	11,50
=	—	1,195	12,74
=	—	1,127	13,41
Phosphorsäure	13	1,141	13,00
Arsenikfäure	—	1,309	11,90
Salzsäure	17,5	1,153	12,40
=	—	1,113	12,90
=	—	1,057	13,90
Salpetersäure	16	1,500	5,70
=	—	1,432	7,50
=	—	1,372	8,80
=	19	1,271	10,65
=	13	1,223	11,30
=	19	1,117	12,71
Concentrirte Essigsäure . . .	19	1,068	7,16
Verdünnte Essigsäure.	13	1,044	8,77
Ameisensäure	—	1,060	8,74
Weinsäure.	19	1,114	13,30
Apfelsäure.	13	1,136	12,26
Citronensäure	—	1,140	12,14
Aetzkali	19	1,405	6,50
=	-—	1,334	10,60
=	—	1,274	12,10
=	13,5	1,241	12,20
=	19	1,159	12,40
Aetznatron	16	1,338	12,07
=	—	1,239	13,70
Neutrales kohlensaures Kali . .	18	1,530	12,10
= = = . . .	14	1,276	13,00
Doppelkohlensaures Kali. . .	16	1,081	15,97
Kohlensaures Natron. . . .	17	1,156	12,90
Kohlens. Ammoniak	—	1,093	12,10
Schwefels. Natron	15	1,154	14,10
Schwefels. Talk	18	1,193	13,50
Schwefels. Alaunerde	16	1,126	13,34
Schwefels. Kupferammoniak . .	—	1,071	14,18
Schwefels. Zink	19	1,430	11,50
Schwefels. Eisenoxydul	19	1,212	12,50

Flüssigkeiten	Temperat. Cels.	Spec. Gew.	C.
Schwefelsaures Manganoxydul .	—	1,455	11,90
Chromsaures Kali	13,5	1,070	14,40
Phosphorsaures Natron . . .	19	1,043	14,00
Arseniksaurer Kalk	—	1,176	13,50
Arsenikſ. Ammoniak	—	1,223	13,30
Salzsaures Natron	—	1,200	14,00
Salzsaures Ammoniak . . .	—	1,070	14,40
Salzsaurer Kalk	17,5	1,336	12,90
= = ...	—	1,178	13,52
= = ...	—	1,119	14,20
Salzsaurer Talk	18	1,231	13,98
Salzsaures Eisen	17,5	1,098	14,15
Salzsaures Kupfer	—	1,426	11,10
Arsenikbutter	15	2,200	4,17
Arsenikbutter in Weingeist gelöst	—	1,093	5,63
Salpetersaures Kali	19	1,137	12,80
Salpeterſ. Natron	—	1,373	12,40
Salpeterſ. Baryt	—	1,046	13,88
Salpeterſ. Kupfer.	—	1,346	12,08
Essigsaures Natron	—	1,150	12,75
Essigſ. Eisen	14	1,050	11,80
Essigſ. Kupfer.	19	1,426	14,26
Essigſ. Blei	17,5	1,213	11,53
= = ...	—	1,099	13,70
Blausaures Cyaneisenkalium. .	16	1,089	13,73
Weinsaures Kali	19	1,475	11,60
Weinſ. Natron	—	1,254	12,92
Weinſ. Natronkali	16	1,217	12,97
Zuckerwasser	19	1,185	13,50
Weingeist	17	0,810	5,83
=	20	0,857	5,95
=	17	0,895	6,20
=	—	0,931	6,60
=	—	0,967	7,71
Schwefeläther	19	0,728	5,10
=	14,5	0,732	5,37
Schwerer Salzäther	20	1,134	5,13
Reines Terpentinöl	13	0,897	6,71
Unreines Terpentinöl. . . .	13	0,944	7,66
Steinöl	—	0,787	6,75
Lavendelöl.	—	0,897	6,34
Mandelöl	—	0,916	7,40
Nelkenöl	—	1,040	6,90
Schwefelkohlenstoff	—	1,265	5,44

Flüssigkeiten	Temperat. Cels.	Spec. Gew.	C.
Wasser *)	20	1,000	15
Picamar	=	1,100	8,4
Kapnomor.	=	0,977	6,7
Kreosot	=	1,037	8,0
Unrein. Eupion	=	0,740	9,4
Rein. Eupion.	=	0,655	5,7

Mit Mischungen von Wasser mit Weingeist und Wasser mit Salpetersäure hat Gay-Lussac Versuche angestellt **) und Folgendes gefunden:

Wasser	Weingeist	Spec. Gew.	Capillarhöhe
1	0	1,0000	$23^{mm},16$
$^4/_5$	$^1/_5$	0,9779	13,77
$^2/_3$	$^1/_3$	0,9657	11,31
$^1/_2$	$^1/_2$	0,9415	10,00
$^1/_3$	$^2/_3$	0,9068	9,56

der Durchmesser des Haarröhrchens war $1^{mm},296$, die Temperatur 8° bis 9° C.

Wasser	Salpetersäure	Spec. Gew.	Capillarhöhe
1	0	1,0000	$22^{mm},68$
$^4/_5$	$^1/_5$	1,0891	20,52
$^2/_3$	$^1/_3$	1,1474	19,17
$^1/_2$	$^1/_2$	1,2151	17,66
$^1/_3$	$^1/_3$	1,2751	16,35
0	1	1,3691	14,08

der Durchmesser des Röhrchens war $1^{mm},313$, die Temperatur 10° bis 12° C.

J. F. Artur ***) hat mit 8 Röhrchen Versuche angestellt und folgende Resultate erhalten:

Durchmesser des Röhrchens in mm	Flüssigkeitshöhe in Millimetern					
	Destillirtes Wasser 9½—10¾° C.	Absoluter Alkohol 15½—18° C.	Reiner Schwefeläther 12½—13½° C.	Reines Terpentinöl 15¼—17¾° C.	Concentr. Ammoniak 21⅓—22¾° C.	Concentr. Schwefelsäure 12¼—12½° C.
1,718	7,225	2,550	2,200	2,750	6,462	2,587
1,468	8,887	3,000	2,675	3,450	8,037	3,287
1,443	9,250	3,200	2,750	3,550	8,125	2,950
1,431	9,331	3,050	2,775	3,550	8,287	3,275
1,429	9,350	3,200	2,737	3,600	8,137	2,987
1,416	9,500	3,300	2,812	3,875	8,375	3,200
0,387	38,300	14,600	13,000	15,887	34,775	17,000
0,383	38,637	15,000	13,175	16,175	35,575	17,925

*) Diese letzten 6 Resultate sind nach Reichenbach, vergl. Schweigger's Journ. Bd. LXII. LXVIII. LXX. LXXII.

**) Poisson, nouvelle théorie. p. 294.

***) Théorie élémentaire de la Capillarité. Par. 1842.

Bei Berücksichtigung der Temperatur fand Artur eine um so geringere Höhe, je mehr die Wärme gesteigert wurde:

Destillirtes Wasser.

Temperatur Cels.	Spec. Gewicht	Flüssigkeitshöhe in einem Röhrchen vom Durchmesser 0,387mm	0,383mm
0	0,9999	39mm,24	39mm,47
10	0,9998	38,89	39,10
20	0,9985	38,76	38,61
30	0,9960	37,94	38,02
40	0,9922	37,22	37,40
50	0,9877	36,65	36,75
60	0,9825	36,04	35,73
70	0,9765	36,10	35,93
80	0,9699	34,80	35,30
90	0,9628	34,00	34,18
100	0,9553	32,40	32,80

Alkohol.

Temperatur Cels.	Spec. Gewicht nach Gay-Lussac	Flüssigkeitshöhe in einem Röhrchen vom Durchmesser 0,387mm	0,383mm
— 13	0,8179	15mm,64	16mm,00
0	0,8070	15,09	15,30
10	0,7987	14,87	15,13
20	0,7906	14,47	14,72
30	0,7824	14,07	14,27
40	0,7735	13,73	14,00
50	0,7648	13,40	13,80
60	0,7564	12,67	12,93
78	0,7387	12,00	12,00

Schwefeläther.

Temperatur Cels.	Spec. Gewicht nach Gay-Lussac	Flüssigkeitshöhe in einem Röhrchen vom Durchmesser 0,387mm	0,383mm
— 15	0,7309	14mm,17	14mm,40
— 10	0,7258	13,82	14,02
0	0,7155	13,30	13,47
10	0,7059	12,91	13,14
20	0,6951	12,64	13,00
30	0,6838	11,80	12,20
35	0,6783	11,20	11,60

Die angeführten Resultate sind im Allgemeinen Mittel aus mehreren Versuchsreihen, und es offenbart sich eine Differenz, welche keine volle Uebereinstimmung mit der Theorie erweist. Selbst Versuche über die Anziehung einer Substanz in Röhrchen von verschiedener Dicke werden den Hauptsatz darüber nicht schlechterdings bestätigen. Der Grund hiervon dürfte zu suchen sein in einer Einwirkung der Friction der in den Röhrchen enthaltenen Massen an den Wänden derselben, welche je nach der Beschaffenheit beider Theile größer oder geringer ausfallen wird.

Bereits oben ist auf den Art. Barometer verwiesen, weil die Depression des Quecksilbers bei diesem Instrumente vorzügliche Beachtung verdient und deshalb dort die nöthige Berücksichtigung finden mußte. Einer ferneren Anwendung der Theorie der Haarröhrchenwirkung begegnen wir bei der Messung von Gasen, welche in graduirten Röhrchen über Quecksilber oder Wasser enthalten sind, und bei Anfertigung der graduirten Röhren selbst. Daß man in solchen Fällen auf die Krümmung, welche die Flüssigkeit besonders in der Nähe der Wandung des Gefäßes annimmt, Rücksicht zu nehmen habe, wenn man ein genaues Resultat gewinnen will, versteht sich von selbst. Wir geben daher im Folgenden die zur Correction erforderlichen Data, wobei nur noch zu bevorworten sein möchte, daß die wahre Niveau-Ebene beim Quecksilber, d. h. die Ebene, in welcher das Quecksilber stehen müßte, wenn es am Rande des Glases nicht gekrümmt wäre, den Meniscus, also den Theil der Quecksilberoberfläche von dem niedrigsten Punkte am Rande bis zum höchsten in der Mitte, im Allgemeinen nicht halbirt, und daß ein Gleiches für den umgekehrten Meniscus beim Wasser gilt.

Die Höhe des dem Meniscus gleichen Cylinders, auf welchen es bei der Correction ankommt, ist:

$$\frac{a^2 \cos \omega}{\alpha} - h,$$

wo ω der Winkel ist, welchen die Flüssigkeit mit der Röhrenwand bildet, α der Radius derselben, h die Hebung oder Senkung des Scheitels der krummen Fläche über oder unter das äußere Niveau, a^2 eine Constante, dergestalt, daß $\frac{a^2 \cos \omega}{r}$ die Hebung oder Senkung in einer äußerst engen Röhre vom Radius r vorstellt.

Die Tabelle über Quecksilber ist von Danger *) und bezieht sich auf eine Temperatur von 15° C.; die Resultate für Wasser sind von Desains **) berechnet, während jene durch unmittelbare Beobachtung bestimmt wurden.

---

*) Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXIV. p. 501; Poggend. Ann. Bd. LXXVI. S. 297.

**) Compt. rend. T. XXXIV. p. 765; Poggend. Ann. Bd. LXXXVI. S. 491.

Quecksilber.

Innerer Durchmesser der Röhren	Entfernung der Niveau-Ebene unter dem höchsten Punkte des Meniscus	Entfernung der Niveau-Ebene über dem niedrigsten Punkte des Meniscus	Ganze Höhe des Meniscus
mm	mm	mm	mm
1	0,178	0,143	0,321
2	0,310	0,261	0,571
3	0,410	0,369	0,779
4	0,486	0,467	0,953
5	0,544	0,558	1,102
6	0,584	0,634	1,218
7	0,610	0,710	1,320
8	0,630	0,782	1,412
9	0,639	0,844	1,483
10	0,643	0,900	1,543
11	0,643	0,946	1,589
12	0,637	0,988	1,625
13	0,627	1,024	1,651
14	0,610	1,056	1,666
15	0,591	1,086	1,677
16	0,570	1,110	1,680
17	0,550	1,134	1,684
18	0,530	1,157	1,687
19	0,511	1,177	1,688
20	0,495	1,190	1,685
21	0,469	1,207	1,676
22	0,455	1,224	1,679
23	0,450	1,237	1,687
24	0,436	1,252	1,688
25	0,421	1,264	1,685
26	0,408	1,278	1,686
27	0,394	1,290	1,684
28	0,380	1,302	1,682
29	0,366	1,314	1,680
30	0,355	1,325	1,670
31	0,343	1,335	1,678
32	0,330	1,349	1,679
33	0,320	1,356	1,676
34	0,308	1,367	1,675
35	0,297	1,375	1,676
36	0,287	1,384	1,671
37	0,276	1,385	1,661
38	0,265	1,400	1,665

Innerer Durchmesser der Röhren mm	Entfernung der Niveau-Ebene unter dem höchsten Punkte des Meniscus mm	über dem niedrigsten Punkte des Meniscus mm	Ganze Höhe des Meniscus mm
39	0,256	1,407	1,663
40	0,248	1,415	1,663
41	0,240	1,422	1,662
42	0,230	1,430	1,660
43	0,221	1,436	1,657
44	0,215	1,444	1,659
45	0,208	1,450	1,658
46	0,202	1,457	1,659
47	0,197	1,462	1,659
48	0,193	1,469	1,662
49	0,190	1,476	1,666
50	0,187	1,480	1,667
51	0,184	1,488	1,672
52	0,180	1,495	1,675
53	0,180	1,500	1,680
54	0,180	1,505	1,685
55	0,180	1,511	1,691
56	0,180	1,519	1,699
57	0,179	1,523	1,702
58	0,179	1,528	1,707
59	0,179	1,534	1,713
60	0,178	1,540	1,718

Wasser.

Innerer Durchmesser der Röhre mm	Höhe des dem Meniscus gleichen Cylinders mm	Innerer Durchmesser der Röhre mm	Höhe des dem Meniscus gleichen Cylinders mm
2	0,317	20	1,193
4	0,607	22	1,142
6	0,839	24	1,091
8	0,998	26	1,041
10	1,140	28	0,992
12	1,252	30	0,945
14	1,365	40	0,744
16	1,299	50	0,603
18	1,244	60	0,504

Aus den Gesetzen der Haarröhrchenwirkung erklärt sich eine große Anzahl von Phänomenen zum Theil so ungezwungen, daß nur eine Erwähnung nöthig sein dürfte. Es versteht sich von selbst, daß durch dieselben Kraftverhältnisse die Flüssigkeit um die eingetauchte Röhre emporgezogen oder herabgedrückt werden muß. Das Eine oder das Andere wird sich auch bei nicht röhrenartigen Körpern zeigen müssen, sobald sie in eine Flüssigkeit theilweise eintauchen. Schwimmen z. B. zwei hohle Glas- oder Korkkugeln auf Wasser, so hebt sich dieses rings um dieselben. Sind sie einander hinreichend nahe, so zieht sie das zwischen ihnen befindliche Wasser mit beschleunigter Geschwindigkeit gegen einander, bis sie endlich einander berühren. Eben so bewegen sich zwei Kugeln, welche von der Flüssigkeit nicht benetzt werden, z. B. Wachskugeln auf Wasser oder Glaskugeln auf Quecksilber, zu einander hin, indem sie von der äußeren Flüssigkeit gegen einander gedrückt werden. Zwei Kugeln endlich, von denen die eine benetzt wird, die andere aber nicht, entfernen sich wegen der Krümmung der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit von einander. Eben so erklärt sich, warum Luftbläschen auf einer das Gefäß benetzenden Flüssigkeit sich am Rande ansammeln, z. B. bei perlendem Weine, aber nach der Mitte sich bewegen, wenn das Gefäß nicht benetzt wird. — Das Aufquellen der Körper, das Feuchtwerden von Sand, Asche, Erde, die aufsaugenden Wirkungen der Schwämme, das Filtriren, das Maceriren, das Aufsteigen von fetten Oelen in Dochten, das Anschwellen von Zeugen und Fäden in der Feuchtigkeit, die Wirkungen der Bäder, das Färben und andere derartige Erscheinungen finden ihren Grund in der aufsaugenden Wirkung der Haarröhrchen und haarröhrchenartigen Räume. Welche erstaunenswerthe Wirkungen die Thätigkeit der dabei wirksamen Kräfte hervorzubringen vermag, wenn viele Haarröhrchen ihre Wirksamkeit vereinigen, beweist die Möglichkeit, große Werkstücke zersprengen zu können, wenn quellendes Holz in der Mitte derselben angebracht und darauf feucht gehalten wird.

Wegen der zu den Haarröhrchenerscheinungen theilweise zu rechnenden Endosmose und Exosmose s. Art. Exosmose Bd. II. S. 940.

In Betreff des Aufsteigens der Säfte in lebenden Pflanzen sei noch bemerkt, daß dies keine alleinige Haarröhrchenwirkung ist, sondern daß hierbei wahrscheinlich noch dem Pflanzenleben eigenthümliche Kräfte wirksam sind. H. E.

Härte ist eine relative Eigenschaft der festen Körper, so daß ein jeder Körper nur in Bezug auf einen anderen hart ist. Ein Körper, der also in Bezug auf gewisse andere hart ist, kann daher auch in Bezug auf andere weich sein.

Man nennt hart einen Körper, dessen Theile schwer zu trennen und noch schwerer zu verschieben sind und daher dem Eindringen anderer Körper großen Widerstand entgegensetzen. Je mehr dies nun der Fall, um so härter ist der Körper. Um so mehr wird er bei gegenseitiger Reibung mit einem anderen die Bestandtheile desselben aus der Stelle bringen, d. h. ihn ritzen, ohne selbst durch diesen ritzbar zu sein. Hiernach kann man nun alle festen Naturkörper in eine gewisse Reihenfolge bringen, in der jedes Glied das vorhergehende ritzt oder von dem nachfolgenden selbst geritzt wird. Eine solche ist von den Mineralogen aufgestellt worden, da die Härte als eines der wichtigsten Kennzeichen für die Mineralien erkannt worden ist. Am meisten Anerkennung hat hier die von Mohs aufgestellte Härteskale gefunden. Die 10 Mineralien, welche er zur Bezeichnung der verschiedenen Grade auswählte, stehen in der Härte möglichst gleich weit von ein-

ander ab und kommen allgemein vor, so daß sie jedem leicht zur Hand sind. Es sind dies: 1. Talk, 2. Gyps, 3. Kalkspath, 4. Flußspath, 5. Apatit, 6. Feldspath, 7. Quarz, 8. Topas, 9. Rubin und 10. Diamant. Statt der Namen der Mineralien bedient man sich einfacher der entsprechenden Zahlen zur Bezeichnung der verschiedenen Härtegrade und drückt diese mittelst Decimalstellen noch genauer aus. Näheres hierüber findet man außer in den mineralischen Handbüchern noch in Frankenheim's Lehre von der Cohäsion S. 328 und in Glocker's mineralogischen Jahresheften Bd. I. S. 43 u. 205 u. Bd. II. S. 69.

Durch verschiedene Bedingungen kann die Härte in einzelnen Körpern bedeutend gesteigert werden; so bei organischen Körpern durch Entfernen des darin enthaltenen Wassers. Auch der weiche Thon liefert durch Austrocknen und Brennen das sehr harte Porzellan. Bei anderen unorganischen Körpern, namentlich Metallen, wie Silber, Messing, Kupfer, Eisen 2c. erreicht man denselben Zweck durch Hämmern, Walzen 2c. Namentlich beim Eisen und Stahl wendet man das Härten an. Man erhitzt und kühlt schnell ab. Während das Eisen durch diese Operation nur an der Oberfläche eine größere Härte annimmt, geht die Veränderung beim Stahl durchweg vor sich. In der Technik bedient man sich dieser Methode häufig, um Instrumente zu härten; so z. B. härten die Uhrmacher und Mechaniker die Spitzen der feinen Bohrer. Der Grad der Härte soll sich außerordentlich steigern, wenn man zum Ablöschen — Abkühlen anstatt des Wassers Quecksilber anwendet.

Man steigert die Härte einzelner Körper auch dadurch, daß man ihnen andere zusetzt. Aus diesem Grunde verarbeitet man das Silber und Gold stets mit Kupfer. Die beiden ersteren Metalle im reinen Zustande sind ziemlich weich; daraus gefertigte Gefäße 2c. würden bedeutend abgenutzt werden, wie wir dies ja auch bei galvanisch vergoldeten und versilberten Sachen sehen. In solchen Mischungen nun steht die Härte durchaus in keinem bestimmten Verhältniß mit der der einzelnen Bestandtheile. So liefert z. B. das mäßig harte Kupfer mit dem noch härteren Zink das sehr weiche Messing, dagegen mit dem weichen Zinn, je nach den Verhältnissen der Mischung das harte Glockengut oder das härtere Spiegelmetall. Durch Aufnahme von nur 0,01 Kohle verwandelt sich das Eisen in harten Stahl. Höchst unbedeutende Mengen von Aluminium, Silicium, Chrom, Silber, Platin 2c. geben dem Eisen eine bemerkenswerthe Härte. Der Schwefelkies ist so hart, daß er an Stahl Funken giebt. Das bei der Gewinnung des Silbers abfallende Blei, das sogenannte Frischblei ist härter als das gewöhnliche Werkblei, weil es geringe Antheile von Kupfer und anderen Metallen enthält. Auch des Antimon bedient man sich, um den Metalllegirungen eine größere Härte zu geben. Mit vier Theilen Blei liefert es die Schriftgießermasse. Kürzlich machte Barruel *) die interessante Beobachtung, daß Silber, welches nur sechs Tausendstel fremde Metalle — 0,0035 Eisen, 0,002 Kobalt und 0,0005 Nickel — enthält, dadurch eine solche Härte bekommt, daß es zur Anfertigung von schneidenden Instrumenten und Feilen benutzt werden kann.

Sehr merkwürdig ist die Beobachtung, welche Barnes und Perkins machten, als sie eine schnell um ihre Axe laufende Scheibe von weichem Eisen mit

---

*) Compt. rend. T. XXXV. p. 759.

einer Feile kleiner machen wollten. Zu ihrer großen Verwunderung aber wurde nicht die weiche Scheibe, wohl aber die harte Feile angegriffen; unter Umständen kann also auch ein weicher Körper in einen härteren einschneiden. B. und P. fanden bald, daß hieran die schnelle Bewegung der Scheibe Schuld sei und als sie dieselbe noch steigerten, wurde die Feile unter Funkensprühen ganz durchschnitten. Die Scheibe war nicht im geringsten kleiner, wohl aber an dem Rande sehr hart geworden. Diese Erscheinung ist seitdem vielfältig beobachtet worden. Darier und Colledon haben darüber die genauesten Untersuchungen angestellt. Sie experimentirten mit einem harten Grabstichel und einer Scheibe von sehr weichem Eisen. Bewegte sich die Scheibe mit einer Geschwindigkeit von 34,5 Fuß in der Secunde, so griff der Grabstichel in das Eisen ein; wurde sie aber beschleunigt bis auf 70 Fuß in der Secunde, so schnitt die Scheibe in den Grabstichel ein und zwar um so stärker, je mehr sich die Geschwindigkeit steigerte. Stieg die Geschwindigkeit auf 130 bis 200 Fuß in der Secunde, so schnitt die Scheibe auch in Quarz, Achat ꝛc. ein. Eine Uhrfeder mit der scharfen Kante gegen die Scheibe gehalten, wurde augenblicklich eingeschnitten; berührte sie die Scheibe mit der flachen Seite, so wurde sie glühend. Eine Scheibe aus einer Mischung von Zinn und Kupfer brachte in den genäherten Körpern nur ein Zittern hervor. Ein Rad von Kupfer dagegen wurde auch bei einer Geschwindigkeit von mehr als 200 Fuß stets vom Grabstichel angegriffen, schnitt dagegen aber andere Körper, welche härter als Kupfer und weicher als Stahl waren. Merkwürdig ist, daß die Kupferscheibe mit Stahl keine Wärme gab *).

D. und C. gaben für diese merkwürdige Erscheinung eine richtige Erklärung. Bei der sich bewegenden Scheibe wirkt jedes vom Grabstichel angegriffene Eisentheilchen mit einer Kraft gegen den Stahl, welche ein Resultat der Festigkeit des Eisens und der Geschwindigkeit der Bewegung ist; diese Kraft wächst mit der Geschwindigkeit und kann endlich so groß werden, daß sie die Cohäsion des Stahles, welche, da der Stahl unbewegt bleibt, die stets gleich bleibende Kraft des Widerstandes desselben ist, überwiegt. Diese Erscheinung hat daher einige Aehnlichkeit mit dem Zerschlagen selbst sehr dicker Glasröhren, wenn Quecksilber darin in einem luftleeren Raume aufsteigt und gegen das verschlossene Ende mit großer Gewalt anschlägt, während es doch sonst jedem Eindrucke eines festen Körpers sehr leicht nachgiebt; ferner mit dem Wasserhammer und mit dem bekannten Experiment, daß man eine Talgkerze durch ein Bret zu schießen vermag.

Diese Versuche lieferten für die Praxis wichtige Folgerungen. Harte Körper lassen sich am besten durch noch härtere bearbeiten, wenn man die zu bearbeitenden nur langsam bewegt; die einwirkenden Körper greifen dagegen um so stärker an, je schneller sie bewegt werden. Letzteres ist beim Bohren, Feilen, Schleifen ꝛc. zu beachten, ersteres beim Abdrehen. Man hatte diese Beobachtungen wohl schon früher in der Praxis selbst zu machen Gelegenheit gehabt, aber sie nicht immer berücksichtigt. Auf diese Weise gelang es Perkins **) das härteste Gußeisen durch Stahl abzudrehen, indem er dem ersteren nur eine Geschwindigkeit von 6 Fuß in der Secunde gab. W. B.

*) Bibl. univ. T. XXV. p. 281.
**) Gill's Technic. Reposit. 1825. Octbr. p. 247.

Hagel, Schloßen, Steine, Kiese (lat. grando; franz. grêle, glaçons; engl. hail, hailstones), Graupeln (franz. grésil) bezeichnet die verschiedenartigen, bald größeren, bald kleineren Eiskörper, welche zu Zeiten statt des Regens vom Himmel fallen.

Häufig macht man einen Unterschied zwischen den Graupeln und dem Hagel. Unter jenen versteht man alsdann vollkommen runde, selten nur mit einzelnen Hervorragungen versehene Körper, welche 1, höchstens 2 Linien im Durchmesser haben. Die Körner sind schneeweiß, undurchsichtig und nehmen bei größerer Dicke einen dünnen Eisüberzug an. Diese Graupeln kommen vorzugsweise im Winter und Frühlinge ohne von Gewittern begleitet zu sein vor, zur Zeit von Stürmen und heftigen Bewegungen der Atmosphäre. Nach Dove *) bilden die Graupelwetter den natürlichen Uebergang zu den Wintergewittern.

Der eigentliche Hagel tritt in der Regel im Sommer bei Gewittern auf, hat eine birn- oder pilzförmige Gestalt, oben eine Spitze und ein halbkreisförmiges Segment an der gegenüberstehenden Seite. Auch sind die Hagelkörner nach v. Buch's Beobachtungen niemals völlig durchsichtig, sondern immer milchig und trübe, und bestehen aus verschiedenen Schichten. Kämtz **) fand bei heftigeren Niederschlägen um die Körner stets einen glänzenden Ueberzug, den er bei genaueren Beobachtungen von Eis fand. Sehr häufig hat der Hagel die Gestalt dreiseitiger Kugelsegmente, doch kommen auch andere Formen vor. Adanson ***) sammelte in Paris Hagelkörner, welche die Gestalt sechsflächiger, sehr stumpfer Pyramiden von 6 Linien Länge und 3 Linien Breite hatten. Péron ****) sah in Neu-Süd-Wales Hagelkörner, die eine unregelmäßige prismatische Gestalt hatten. Nach Lecoc fand man bei einem Hagelwetter am 28. Juli 1835 im botanischen Garten zu Clermont Hagelkörner von der Größe eines Hühnereies und darüber, mit auslaufenden Nadeln, welche Spuren von sechsseitigen Prismen mit sechsflächiger Zuspitzung zeigten *****).

Kämtz findet zwischen Graupeln und Hagel nur den Unterschied der Größe, indem der im Sommer fallende Hagel in der feuchteren Atmosphäre eine größere Gestalt annehme. Arago †) rechnet noch eine dritte Art von Eiskörpern hierher, nämlich wirklich gefrorne Regentropfen, die sich durch ihre Durchsichtigkeit von den Graupeln und dem eigentlichen Hagel unterscheiden. Wegen der unzweifelhaft verschiedenen Bildungsweise können diese Körper indessen durchaus nicht in die Kategorie des Hagels gebracht werden. Sie entstehen lediglich dadurch, daß herabfallende Regentropfen unten in eine kältere Luft kommen und hier gefrieren. Da eine derartige Vertheilung der Temperatur in der Atmosphäre selten vorkommt, so ist auch die Erscheinung dieser Art des Hagels selten.

Nach Kämtz ††) tritt sie bei steigendem Barometer besonders dann auf, wenn

*) Meteorolog. Untersuch. Berlin 1837. S. 233.

**) Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1832. Bd. II. S. 495—544.

***) Poggend. Ann. Bd. XIII. S. 347.

****) Péron, Voyage. T. I. p. 396.

*****) Poggend. Ann. Bd. XXXVIII. S. 608. — Vergl. überdies ebenda Bd. XVI. S. 383 und Bd. XXVII. S. 362.

†) Poggend. Ann. Bd. XIII. S. 346.

††) A. a. O. Bd. I. S. 406.

warme Südwinde plötzlich durch kalte Nordwinde in der Tiefe verdrängt werden; seltener, wenn bei sinkendem Barometer ein Südwind das Uebergewicht erhält, also bei plötzlichem Thauwetter nach strenger Kälte.

Was die Graupeln ins Besondere betrifft, so sind die im Winter mit Schnee vermischt fallenden wohl nur als zusammengefrorene Schneeflocken anzusehen und daher von geringerer Festigkeit, als die mit Regen zugleich fallenden. Das Letztere ist im Frühjahre das Gewöhnliche, in Deutschland meistens im April, bisweilen jedoch sogar noch im Juni stattfindend. Regenschauer und milder Sonnenschein wechseln zu solchen Zeiten mit einander ab, und besonders ist eine nach dem Regen auffallende Kälte charakteristisch. Es ist dies das allerdings nicht immer im April eintretende sogenannte Aprilwetter. Auf hohen Bergen *) sind Graupeln häufiger als Hagel, eben so in den höheren Regionen der Tropen **).

Die eigentlichen Hagelkörner haben nach Muncke ***) in mittleren Breiten einen Durchmesser von höchstens $1\frac{1}{2}$ bis $1\frac{3}{4}$ Zoll. Wo größere Massen vorkommen, sind dieselben durch Vereinigung mehrerer Hagelkörner entstanden.

Die Größe der zusammengeballten Körner ist oft sehr bedeutend. Beispiele von Hagelmassen, welche die Größe von Hühnereiern, oder von einer Faust hatten, oder ein Pfund und noch mehr wogen, haben Muncke ****) und Kämtz *****) gesammelt. Daß die Erzählungen oft ans Abenteuerliche grenzen, dafür geben wir als Beleg folgende von Gilbert †) aus öffentlichen Blättern, die er leider nicht namhaft macht, mitgetheilte Erzählung: Am 28. Mai 1802 fiel in Ungarn bei dem Dorfe Putzemischel während eines Gewitters und Hagelwetters ein viereckiger Eisklumpen aus der Luft 3 Fuß lang, 3 Fuß breit und 2 Fuß hoch. Acht Männer vermochten nicht ihn aufzuheben; man schätzte ihn auf 11 Centner, und nach drei Tagen fand man noch Ueberbleibsel davon. Nicht weit davon lag noch ein zweiter Hagelklumpen von der Größe eines guten Reisekoffers. Muncke fügt noch eine andere Erzählung hinzu, nach welcher in der letzten Zeit der Regierung Tippo Saheb's nahe bei Seringapatam eine Hagelmasse von der Größe eines Elephanten herabgefallen sein soll. Ein rein fingirtes Hagelwetter ist das in Potsdam im Jahre 1767, bei welchem Hagelmassen von der Größe eines Kürbis herabgefallen sein sollen. Zur Ausschmückung waren fast alle Fensterscheiben zerschlagen, mehrere Ochsen getödtet und einem Bauer ein Arm abgeschlagen. Friedrich II. hatte diese Nachricht durch beide Berliner Zeitungen verbreiten lassen, um dem von Berlin ausgehenden Gerede über bevorstehenden Krieg ein Ende zu machen.

Das Innere des Hagelkornes ist gewöhnlich ein matter Schneekern. Elie de Beaumont hat dies durch genaue Beobachtungen in der Schweiz 1831 und in Tyrol 1836 bestätigt; eben so Polonceau bei einem Hagelwetter im Juli

---

*) Scheuchzer, Naturhistorie des Schweizerlandes Bd. III. S. 20; Musschenbroek, Introd. §. 2393; Saussure, Voyage. §. 2075.

**) Humboldt, Voyage. T. VI. p. 350. Deutsche Uebers. Bd. III. S. 465.

***) Gehler's Phys. Wörterb. Neue Bearb. Bd. V. S. 32.

****) A. a. O. Bd. V. S. 32 ff. Bd. VI. S. 2011.

*****) A. a. O. Bd. II. S. 499.

†) Gilb. Ann. Bd. XVI. S. 75.

1826 zu Versailles, wo die Körner 1 bis 2 Zoll Durchmesser hatten *). Doch findet man auch fremdartige Massen eingeschlossen. Kämtz **) führt folgende Thatsachen an.

„Maternus von Cilano ***) erzählt, er habe im Juni in einem trierischen Dorfe in den gefallenen Hagelsteinen kleine Spreu mit Schnee umgeben und mit Eisrinde überzogen, beobachtet, und fügt hinzu, daß Scheuchzer ****) und Fromondus *****) dasselbe gesehen hätten. Bei einem Hagelwetter in Flandern enthielten einige Hagelkörner eine dunkelbraune Substanz †), und eben so hat man auf dem Paramo von Guancos in einer Höhe von 2300 Toisen rothen Hagel gefunden ††). Im Jahre 1755 fiel beim Toben des Katlegiaa auf Island ein Hagel, von welchem jedes Korn etwas Sand oder vulkanische Asche enthielt †††). In diesen Fällen ist es leicht begreiflich, wie die in die Höhe gehobenen Massen dann, wenn ihre Temperatur hinreichend niedrig war, die Mittelpunkte von Hagelkörnern werden konnten, indem sich der Dampf auf ihrer Oberfläche niederschlug. Schwieriger aber sind die beiden folgenden Thatsachen zu erklären. Es fiel nämlich im Jahre 1821 in Irland Hagel mit einem eingeschlossenen metallischen Kerne, welchen Pictet deutlich für Schwefelkies erkannte ††††). Zur Bestätigung dieser von Gilbert bezweifelten Thatsache wird noch ein ähnliches Phänomen in Sibirien angeführt. In den Hagelkörnern, welche am 15. August 1824 zu Sterlitamansk im Orenburgischen Departement herabfielen, wurden Octaeder von etwa 3 Linien Seite und fast 1 Linie Höhe gefunden, welche nach der Untersuchung von Eversmann den goldhaltigen Schwefelkiesen von Beresowsky glichen †††††). Indessen bezweifelt G. Rose *†) den meteorischen Ursprung, während Fusinieri **†) aus seinen Versuchen schließt, daß die Atmosphäre in jeder Höhe oder wenigstens bis zur Region der Gewitterwolken Eisen, Schwefel und andere noch nicht chemisch analysirte Stoffe enthält, also daraus wohl die Möglichkeit dergleichen Kerne nicht bezweifelt werden dürfte.

Daß der Hagel nur bei Tage, niemals bei Nacht auftrete, ist eine allgemein verbreitete Annahme; indessen stehen zahlreiche Thatsachen hiermit im Widerspruch. Kämtz ***†) hat aus den Arbeiten von Arago ****†), Ideler †*) und

*) L'Instit. 5me Ann. No. 218. p. 240. 242.
**) A. a. O. S. 501.
***) Hamburger Magazin. Bd. XVII. S. 80.
****) Breslauische Sammlungen. Bd. IX. S. 90.
*****) Meteorologicorum lib. V. cap. 8. p. 342.
†) Phil. Transact. No. 203. p. 858.
††) v. Humboldt in Schweigger's Jahrb. N. R. Bd. XIV. S. 452.
†††) Reise nach Island auf Befehl Sr. dän. Majestät. Aus dem Französ. von Gauthier de la Peyronie. T. IV. p. 266, vergl. Muncke a. a. O. S. 39.
††††) Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 436.
†††††) Gilb. Ann. Bd. LXXVI. S. 340.
*†) Poggend. Ann. Bd. VI. S. 30. Bd. XXVIII. S. 570, vergl. auch Kastner, Archiv. Bd. IV. S. 196.
**†) Arago im Annuaire 1836. p. 291.
***†) A. a. O. Bd. II. S. 502—506.
****†) Poggend. Ann. Bd. XIII. S. 344.
†*) Poggend. Ann. Bd. XVI. S. 499 u. Bd. XVII. S. 435.

Muncke *), ferner aus der Sammlung des Maternus von Cilano, welche auch die von Scheuchzer gesammelten Fälle enthält, und aus den Mannheimer Ephemeriden 70 durch Ort und Datum beglaubigte nächtliche Hagelwetter zusammengestellt. Er bemerkt hierbei mit vollem Rechte, daß man nicht vergessen dürfe, daß es während der Nacht wenige Beobachter giebt, und daß es im Dunkeln schwer wird zu bestimmen, ob die herabfallenden Massen Hagel oder Regentropfen sind. Wenn der Beobachter nicht Hagel selbst sammelte, oder das Hagelwetter keinen bedeutenden Schaden anrichtete, so findet er ihn am Morgen meistens geschmolzen und er hält also den Niederschlag für Regen. Aus neuester Zeit fügen wir als eine beachtenswerthe Erscheinung hinzu, daß am 17. Februar 1854 in Brüssel sich Abends nach 9 Uhr ein heftiges, von Hagel begleitetes Gewitter erhob, bei welchem der Blitz in Brüssel und in dem nahen Vilvorde einschlug. Die Hagelwetter sind mithin an keine bestimmte Tageszeit gebunden, nur sind sie Nachmittags am häufigsten und des Nachts am seltensten.

Ueber die Vertheilung der Hagelwetter nach den Jahreszeiten, allerdings ohne Rücksicht darauf, ob die niederfallenden Körner Graupeln oder eigentlicher Hagel gewesen sind, da der Unterschied nicht von allen Beobachtern in gleicher Weise festgehalten wird, hat Kämtz **) eine sorgfältige Zusammenstellung und Berechnung versucht. Seine Resultate sind folgende:

	Anzahl der Hagelschauer		
	in Frankreich und den Niederlanden	in Deutschland	in den östlich von Deutschland gelegenen Gegenden Europas
Jährlich . .	10 bis 20	5	3
Winter . .	32,8 Procent	10,3 Procent	9,9 Procent
Frühling . .	39,5 „	46,7 „	35,5 „
Sommer . .	7,0 „	29,4 „	50,6 „
Herbst . .	20,7 „	13,6 „	13,0 „

Diese Angaben beziehen sich jedoch nur im Allgemeinen auf größere Districte, in denen es wiederum Gegenden giebt, die sich durch seltene, andere, die sich durch häufige Hagelwetter auszeichnen. Schon aus den von Kämtz gelieferten Tabellen ersieht man, daß es in Hamburg seltener hagelt als in Lüneburg, eben so in Stuttgart seltener als in Mannheim. Wir können hinzufügen, daß erfahrungsgemäß in Pommern an der Küste der Hagel seltener ist, als in größerer Entfernung von derselben. Die Gegend von Neu-Stettin und Bütow wird besonders häufig heimgesucht. Einen solchen Gegensatz bilden z. B. auch im Saalthale die Gegend von Jena und die von Merseburg ***). Scheuchzer ****) bemerkt,

*) Gehler's Phys. Wörterbuch. N. Bearb. Bd. V. S. 46, vergl. auch Bd. VI. S. 2020.

**) A. a. O. Bd. II. S. 507—513.

***) Schleiden und Schmid, Encyclopäd. Bd. II. S. 362.

****) Naturhistorie des Schweizerlandes. Bd. III. S. 20.

daß in einigen Thälern der Schweiz, z. B. in Wallis und in den meisten von West nach Ost ziehenden Thälern der Hagel so selten sei, daß oft in 20 Jahren keiner falle. Nach L. v. Buch *) bleiben im Allgemeinen die Thäler, in welchen Cretins vorkommen, vom Hagel verschont, so außer Wallis auch das Thal von Aosta; überhaupt ist er der Meinung, daß da, wo Kröpfe vorkommen, der Hagel selten sei, z. B. in Unter-Engadin. Da wo die Thäler der Alpen aus dem Gebirge, das sie hoch und steil eingeschlossen hat, hervorkommen, breitet sich die Fläche gewöhnlich zu einem Hügellande aus, welches gegen die vorigen Engen als eine Ebene erscheint, und diese Flächen in der Nähe der hohen Gebirge werden jährlich vom Hagel verwüstet. Borgofranco am Ausgange des Aostathales ist kaum je in einem Jahre verschont geblieben, und Saussure **) fügt dies erwähnend hinzu, man habe beobachtet, daß in den am Fuße hoher Berge gelegenen Ebenen der Hagel in einer gewissen Entfernung davon stärker und häufiger sei, als in größeren oder kleineren Entfernungen. Eben so häufig ist nach v. Buch der Hagel in Ivrea. In den Aemtern von Mendrisio und Lugano, am Abfalle der Alpen gegen Mailand wird in allen Berechnungen von Gütern oder Pachtzinsen vorausgesetzt, daß jährlich der zehnte Theil aller Producte vom Hagel zerstört werde ***).

In höher liegenden Gegenden kommt nach L. v. Buch ferner der Hagel nicht so häufig vor, als in der Tiefe.

In Cressier über dem See von Neufchatel verhageln die Weinberge häufig, während es in Lignières am Abhange des Chaumont 1200 Fuß höher zu gleicher Zeit regnet, aber wenig oder auch gar nicht hagelt. Im hoch liegenden Thale von Travers regnet es, und wenn die Gewitter an die tiefer gelegenen Abhänge kommen, hagelt es. Eben so sind bei Clermont in der Auvergne zwischen dem Mont d'or und Puy de Dome Hagelwetter höchst selten, während die nahen, allein niedriger gelegenen Ortschaften Blanzet, Chateaugué, Sayat jährlich zu einer Zerstörung durch Hagelschlag verdammt zu sein scheinen.

Aus dem eben Angeführten und aus der Angabe Saussure's, daß auf dem Hochgebirge der Alpen zwischen dem Schnee häufig Graupeln gefunden werden, schließt Kämtz ****), daß die Hagelkörner eben so wie die Regentropfen und die Schneeflocken erst während des Falles größer werden, daß sich also beim weiteren Herabfallen die Graupelkörner in Hagel umwandeln.

Da der Hagel so local ist, so ist es auch naturgemäß, wenn die Assecuranzcompagnien für verschiedene Gegenden verschiedene Procente fordern.

Wie einflußreich scheinbar geringfügige Verhältnisse sind, dafür findet sich ein auffallendes Beispiel an Casalbero in der Provinz degl' Irpini in Neapel. Gegen NW. war ein bewaldeter Bergrücken und der Ort war frei von Hagelschlägen; seitdem aber der Abhang beackert ist, hagelt es fast jedes Jahr *****).

Ueber das Vorkommen des Hagels in den Gegenden zwischen den Wendekreisen theilt Kämtz †) folgende Erfahrungen mit.

---

*) Abhandl. der Berl. Acad. 1814. S. 74.
**) Reisen. Bd. IV. S. 162. §. 972.
***) v. Buch a. a. O. nach Bonstetten Schriften. Bd. IV. S. 44.
****) A. a. O. Bd. II. S. 515.
*****) Dove, meteorol. Untersuch. Berlin 1837. S. 69.
†) A. a. O. Bd. II. S. 516.

„In den tiefer liegenden Gegenden zwischen den Wendekreisen ist der Hagel sehr selten. So ist er auf dem glühenden Strande von Cumana, wo sich nur selten Regen zeigt, ganz unbekannt*). Thibault de Chanvalon behauptet, es habe in Martinique nur ein Mal, nämlich im Jahre 1721, in der Ebene gehagelt, und es sei dieses Phänomen wegen seiner Seltenheit sehr aufgefallen **), eine Behauptung, welche Moreau de Jonnes für übertrieben hält***). Dagegen schon in einiger Höhe hagelt es öfter; so ereignet sich in Caracas (454 Toisen) etwa alle 4 oder 5 Jahre ein Hagelschauer, und selbst in tieferen Thälern ereignet sich dieses zuweilen, aber stets macht ein solches Phänomen einen lebhaften Eindruck auf das Volk. Der Fall von Aerolithen (vergl. Art. Feuerkugel) ist bei uns nicht seltener, als der Hagel zwischen den Wendekreisen in einer Höhe, welche kleiner ist als 300 Toisen über dem Meere ****). Und als Humboldt seine Reise auf dem Orenoco machte, so erzählte ihm der Pater Roman in der Mission zu Pararuma, daß es dort in der Mitte des vorigen Jahrhunderts während eines heftigen Gewitters gehagelt habe. Dieses ist, fährt Humboldt fort, das einzige mir bekannte Beispiel, wo es zwischen den Wendekreisen in einer Ebene gehagelt hat, deren Höhe nicht viel über dem Meeresspiegel liegt. Da es nun in der Höhe häufiger hagelt, so hält v. Humboldt es für wahrscheinlich, daß die Körner während des Fallens schmelzen."

A. v. Humboldt *****) erwähnt bei seiner Besteigung des Chimborazo, daß es in einer Höhe von ungefähr 17400 Fuß heftig gehagelt habe, in undurchsichtigen, milchweißen Hagelkörnern mit concentrischen Lagen, von denen einige durch Rotation beträchtlich abgeplattet erschienen. Schon oberhalb der unteren Grenze des ewigen Schnees wurde der Hagel durch Schnee ersetzt.

„Auch von anderen Gegenden in niederen Breiten wird (nach Kämtz) erwähnt, daß der Hagel daselbst selten vorkomme. So erzählt Péron, daß sich die ältesten Einwohner auf Isle de France nur eines einzigen Hagelwetters erinnerten †); auch in Bornu ist er nach den Berichten von Denham und Clapperton selten ††). Auf dem Hochlande von Habesch kommen sehr starke Hagelschauer vor †††)." — Rüppel berichtet ††††), daß es in Abessinien oft hagle, aber nie bei Gewittern. — „In Aegypten und Palästina, wo es selten regnet, kommt auch der Hagel nicht häufig vor, wie denn der Verfasser des Pentateuch Hagelschauer zu den Wundern zählt, welche sich vor dem Auszuge der Juden aus Aegypten ereigneten *†)."

In Ostindien ist nach Sykes **†) zu Hurreechundurghur unter 31° 57′ n. Br.

---

*) Humboldt, Voyage. T. XI. p. 15.

**) Voyage à la Martinique. p. 135 bei Cotte Mém. T. II. p. 545.

***) Moreau de Jonnes sur le climat des Antilles. p. 49 u. Humboldt, Voyage T. VI. p. 350.

****) Humboldt, Voyage. T. IV. p. 196.

*****) Kleinere Schriften. Stuttgart u. Tübingen 1853. Bd. I. S. 153.

†) Péron, Voyage. T. I. p. 50.

††) Denham, Narrative, Appendix Meteorol. observ. Poggend. Ann. Bd. X. S. 486.

†††) Bruce, Reisen. Bd. III. S. 10.

††††) Compt. rend. 1836. pt. I. p. 29; Poggend. Ann. Bd. XXXVIII. S. 609.

*†) 2. Moses. IX. 18.

**†) Phil. Transact. 1835. p. 190.

und in einer Höhe von 3943 engl. F. der Hagel während der Stürme nicht selten. In Südafrika unter 31° 30′ s. Br. und 24° östl. L. v. Gr. erlebte Burchell heftige Hagelwetter*). Nach Freycinet**) ist in Brasilien Hagel eine Seltenheit und besteht stets aus Würfeln mit abgestumpften Ecken von der Größe eines Taubeneies.

Wegen der im hohen Norden liegenden Gegenden macht Kämtz darauf aufmerksam, daß die Atmosphäre sehr wenig Dampf enthält, daß also jedenfalls der Hagel nicht großkörnig sein könne, wie ja auch der Regen daselbst meist in kleinen Tropfen herabfalle. Scoresby***) versichert, nicht oft vom Hagel getroffen zu sein. Auf Grönland ist der Hagel häufig, wie aus den Beobachtungen von Ginge zu Gothaab auf Grönland aufs Bestimmteste hervorgeht.

Auf der nördlichen Halbkugel scheint die Hagelzone zwischen 30 und 60° Br. zu liegen.

Als Vorbote von Hagelwettern wird häufig ein eigenthümliches Geräusch angegeben, welches zum Theil die an einander stoßenden Hagelkörner, zum Theil die fast alle Hagelschauer begleitenden heftigen Luftströmungen verursachen mögen. Schon bei Lucretius****) wird dieses Geräusches Erwähnung gethan. In einer Schilderung*****) wird es verglichen mit dem Geräusche, welches ein großes Bund Schlüssel beim Schütteln erregt; in einer anderen †) wird es demjenigen ähnlich gefunden, welches eine große fortrauschende Wassermasse macht. Löwe ††) nennt das Geräusch prasselnd. Schon Volta †††) bezeichnet das Geräusch als etwas Charakteristisches.

Der Sturm, welcher ein Hagelwetter begleitet, scheint bei jedem neuen Herabfallen des Hagels an Heftigkeit zu gewinnen. Je heftiger der Wind ist, desto größer ist auch die Gewalt des herabfallenden Hagels. Nach einem Hagelwetter findet man häufig Thiere, z. B. Hasen, Rebhühner, Raben, Sperlinge erschlagen, Fensterscheiben, Dachschiefer zerschmissen, selbst starke Pflanzen zerbrochen. Daß man so selten von Verletzungen von Menschen hört, hat wohl darin seinen Grund, daß diese zeitig genug Schutz suchen; doch wurde am 9. Juni 1822 bei Trient von drei Kindern auf dem Felde ein 16jähriges Mädchen so verwundet, daß es nach einigen Tagen starb. Beispiele, daß Pferde, Kühe, Schafe im Freien mehr oder weniger stark verwundet wurden, sind gar nicht selten. Welch unermeßlichen Schaden ein weit sich verbreitendes Hagelwetter anrichten kann, erklärt sich hieraus leicht. In Frankreich wurde der durch ein Hagelwetter am 13. Juli 1788 verursachte Schaden nicht übertrieben auf fast 25 Millionen Livres abgeschätzt.

Vor der Entstehung eines Hagelwetters pflegt sich im Sommer der Himmel wie bei Gewittern mit weißen Federwolken zu überziehen, in denen Kämtz ††††)

---

*) Burchell, Reisen. Bd. II. S. 175.
**) Voyage. T. I. p. 93.
***) Scoresby, Account. T. I. p. 424.
****) De rer. natura. VI. 155.
*****) Maternus von Cilano im Hamburger Magazin. Bd. XVII. S. 198.
†) Morier, Second Journey. p. 309. Schweigger's Jahrb. N. R. Bd. XXVI. S. 393.
††) Poggend. Ann. Bd. LXXX. S. 307.
†††) Volta, Opere T. I., II. p. 396.
††††) A. a. O. S. 519.

öfters Höfe oder Spuren von Nebensonnen entdeckte. Derselbe sagt, er habe nur im Frühlinge und Winter aus einem einzigen schnell in einen Nimbus (Regenwolke) verwandelten Cumulus (Haufenwolke) auf heiterem Grunde hageln sehen; im Sommer habe er stets zwei Wolkenschichten bemerkt, auf welchen Umstand auch Volta aufmerksam macht. Die Hagelwolken selbst scheinen eine große Dicke zu haben, und unterscheiden sich von anderen Gewitterwolken durch einen sehr merkwürdigen aschgrauen Farbenton. An den Rändern sind sie vielfach zerzaust, und auf der Oberfläche zeigen sie hie und da sehr große unregelmäßige Auswüchse, so daß sie geschwollen zu sein scheinen *). Zuweilen auch bilden die Hagelwolken einen traubenartigen Schlauch, welcher sich im Fortgange tiefer herabsenkt und zuletzt fast die Erde berührt, ehe er sich seiner Bürde entledigt **). Diese Erscheinung erinnert an die Wasserhosen (vergl. d. Art.) und in der That ist der Hagel ein gewöhnlicher Begleiter derselben. Es findet ferner bei Hagelwettern eine Verdunkelung statt, welche Tessier mit der einer totalen Sonnenfinsterniß vergleicht ***). Muncke bemerkt noch, er glaube bemerkt zu haben, daß beim Beginne von Hagelwettern, wie bei sehr schweren Gewittern, einzelne Blitze und ein abgeschnittener prasselnder Donner minder häufig beobachtet wären, als vielmehr eine dem Wetterleuchten ähnliche anhaltende Erhellung und ein ununterbrochenes dumpfes Rollen des Donners. Hat eine Gewitterwolke schon eine Zeitlang geregnet, so ist man in der Regel gegen Hagelschlag, hauptsächlich gegen verheerende Hagelwetter gesichert; in den bei weitem meisten Fällen dagegen rückt das Hagelwetter mit den beschriebenen Phänomenen heran, es erfolgt ein hervorstechender heftiger Donner, hiernach fallen einzelne, sehr dicke Regentropfen, deren Fallen meistens hörbar heftig ist, demnächst einzelne kleine Hagelkörner, wobei die Gefahr um so größer ist, je weniger diese von vielen und kleinen Regentropfen begleitet sind, und endlich erfolgt das Hageln selbst, welches in sehr kurzen Pausen einer geringeren Heftigkeit und bei begleitenden heftigen Blitzen und Donnern nur einige Minuten anzuhalten pflegt. Die Dunkelheit, das Brausen in der Luft, die heftigen Blitze mit furchtbarem Donner, das Prasseln der Hagelkörner auf dem Straßenpflaster und den Dächern, das Zerschlagen der Fenster, welches Alles überraschend schnell hereinbricht, erfüllen Menschen und auch Thiere mit einer Art von Bangigkeit und Furcht.

Bei allen Hagelwettern findet eine bedeutende Herabdrückung der Temperatur statt.

Die vom Hagel getroffenen Stellen sind in der Regel nur schmal. Muschenbroek ****) giebt für die Breite nur einige hundert Ellen an, die Länge ist jedoch oft sehr bedeutend. Bei dem von Tessier sehr genau beschriebenen Hagelwetter vom 13. Juli 1788 in Frankreich erstreckte sich die Verwüstung über zwei parallele von Südwest nach Nordost gerichtete Zonen, von denen die eine eine Länge von 175 Lieues, die andere von ungefähr 200 hatte. Die mittlere Breite der westlichen Zone betrug 4 Lieues, die der anderen nur zwei. Auf dem

---

*) Poggend. Ann. Bd. XIII. S. 345 u. 354.

**) Muncke a. a. O. Bd. V. S. 42.

***) Mém. de l'Acad. 1790. p. 266. Poggend. Ann. Bd. XIII. S. 348. Gehler's Wörterb. Bd. V. S. 49.

****) Introd. §. 2395.

Raume zwischen beiden Zonen, der im Mittel 5 Lieues breit war, fiel kein Hagel, dagegen ein sehr starker Regen. Auch ostwärts von der östlichen, so wie westwärts von der westlichen Hagelzone regnete es stark. Ueberall ging dem Hagelwetter eine dicke Finsterniß voraus, und diese erstreckte sich selbst bis weit von den behagelten Gegenden. Durch Vergleichung der Zeit, zu welcher es an den verschiedenen Orten gehagelt hatte, fand sich, daß das Gewitter $16\frac{1}{2}$ Lieues in einer Stunde zurückgelegt haben mußte, und daß diese Geschwindigkeit in beiden Zonen genau dieselbe gewesen war.

Kämtz *) ist wohl mit Recht der Meinung, daß nicht eine einzige Hagelwolke diese ganze Strecke zurück legte, sondern daß vielmehr eine fortschreitende Hagelbildung stattgefunden habe, so also, daß mit der fortschreitenden Ursache auch die Bildung der Wetterwolken fortschritt, aus denen der Hagel herabfiel.

Ehe wir zu den über die Entstehung des Hagels aufgestellten Theorien übergehen, müssen wir noch die überaus wichtigen Beobachtungen von Lecoc **) aufnehmen, welche derselbe am 28. Juli und am 2. August 1835 auf dem Puy de Dome und dessen Umgegend zu machen Gelegenheit hatte.

Am ersten Tage wurde die Umgegend von Clermont durch ein heftiges Gewitter verwüstet, welches innerhalb vier und einer halben Stunde einen Weg von ungefähr neunzig Lieues zurücklegte. Die Wolke selbst ging nicht sehr hoch, denn der große Puy de Dome empfing keinen Hagel, wohl aber in reichlicher Menge der kleine, welcher 1200 Meter hoch ist.

Am 2. August wurde die Gegend von Clermont abermals von einem Hagelwetter betroffen, und dies Mal befand sich Lecoc in den Wolken selbst, die das Meteor erzeugten. Er war auf dem Gipfel des Puy de Dome. Der seit dem Morgen herrschende Westwind hatte bald einige Wolken herbeigeführt, die einige Meter hoch über seinem Kopfe fortzogen; allein die Sonne erschien nochmals wieder. Hierauf sah er andere Wolken vom Mont Dore sich ablösen und auf sich zukommen, getrieben von einem ziemlich heftigen Südwinde. Als er sonach voluminöse Wolken in zwei Richtungen schiffen sah, zweifelte er keinen Augenblick länger, daß sich Hagel bilden würde, und seine Vermuthungen gingen bald in Wirklichkeit über.

So lange die beiden Wolkenschichten nicht über einander schwebten, zeigte sich keine Spur von Hagel. Die untere Wolkenschicht war nicht gleichförmig, wie die obere, sondern zusammengesetzt aus ungeheuren farbigen Flocken, welche in gleicher Richtung, aber in ungleichen Abständen und mit verschiedener Geschwindigkeit fortzogen. Von Zeit zu Zeit wurden sie durch Blitze sehr lebhaft beleuchtet, welche in Gestalt von Lichtfurchen von einer Flocke zur anderen übersprangen. Zuweilen schien sogar ein langer Blitz in demselben Augenblicke den ganzen Raum zwischen dem Puy de Dome und dem Mont Dore zu durchzucken. Alles dies trug sich in der unteren Dampfschicht zu. Niemals zeigten sich elektrische Funken in der Luftschicht zwischen den beiden Wolkenschichten. Weiterhin fiel Hagel aus den unteren Wolken auf den Boden. Die Wolke, welche ihn ausschüttete, war an ihren Rändern

*) A. a. O. Bd. II. S. 522.

**) Compt. rend. 1836. pt. I. p. 324. Ann. Chim. Phys. T. LXI. p. 206. Poggend. Ann. Bd. XXXVIII. S. 606.

gezähnt und zeigte daselbst eine schwer zu beschreibende Wirbelbewegung. Es schien, als würde jedes Hagelkorn durch eine elektrische Abstoßung fortgetrieben; die einen entwichen nach unten, die anderen nach oben. Endlich flogen sie in allen Richtungen fort, und unzweifelhaft würden sie in unzählig vielen Richtungen den Boden erreicht haben, wenn der Südwind, unterhalb des Westwindes, sie nicht alle nach Norden getrieben hätte. Nachdem die ungewöhnliche Bewegung, an welcher blos die vorderen Ränder der Wolken Theil zu nehmen schienen, fünf bis sechs Minuten gedauert hatte, hörte der Hagel auf, die Ordnung stellte sich wieder her, und die Hagelwolke setzte ihren Weg nach Norden fort, dabei in der Ferne einige Striche Regen zeigend, welche kaum den Boden erreichten, sondern sich vorher aufzulösen schienen.

Lecoc verließ den Puy de Dome, und da der Himmel sich wieder in dem früheren Zustande zeigte, so bestieg er noch den Puy de Goules. Bald war er von einer Hagelwolke umgeben. Der größte Theil der Wolke ging indessen über seinem Kopfe weg, und hier hörte er deutlich das Pfeifen der Hagelkörner oder vielmehr ein verworrenes Geräusch, entstehend aus einer Unzahl partieller Geräusche, welche er nur dem Reiben der einzelnen Hagelkörner an der Luft zuschreiben konnte. Alle Hagelkörner besaßen eine sehr rasche Rotationsbewegung, aber in verschiedenem Sinne. Als der Hagel aufhörte, bildeten die Wolken nicht mehr als eine einzige Schicht.

Bei Prüfung des aus einer Anzahl in einer Flasche gesammelter Hagelkörner entstandenen Wassers erhielt Lecoc eine sehr merkliche Trübung mit salpetersaurem Silber und salpetersaurem Baryt. Mène hat im Hagel Ammoniak gefunden und eben so Meyrac im Schnee- und Regenwasser *). Ersterer erhielt auch beim Eindampfen eine schwarze kohlige Substanz, und Letzterer bemerkte bei seinen Versuchen einen empyreumatischen Geruch, woraus auf die Anwesenheit organischer Theile im meteorischen Wasser zu schließen ist. Peltier **) will im Hagel Schwefelwasserstoffammoniak gefunden haben.

Die Entstehung des Hagels ist bei weitem noch nicht hinreichend erforscht, obschon sich die größten Physiker mit der Erklärung der Hagelbildung beschäftigt haben.

Wegen der elektrischen Natur der Gewitter nahm man seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts auch bei der Hagelbildung die Wirkung der Elektricität als wesentlich an. Muſſchenbroek ***), Mongez ****), De Luc *****), Lampadius †), Lichtenberg ††) sind Vertreter dieser Ansicht aus jener

---

*) Poggend. Ann. Bd. LXXXIV. S. 284 aus Compt. rend. T. XXXII. p. 770 und 913.

**) Compt. rend. T. XXII. p. 376.

***) Introd. §. 2395.

****) Journal de Phys. T. XII. p. 202. Ann. de Chim. T. V. p. 51.

*****) Idées sur la météorol. T. II. sect. III. chap. 2. Nouvelles Idées. T. II. §. 641. Gren's Journ. Bd. IV. S. 264.

†) Beobachtungen über die Elektr. und Wärme unserer Atmosph. Berlin 1793. Atmosphärologie. Freiberg 1806. S. 153.

††) Neues Hannöv. Mag. 1793. Lichtenberg's vermischte Schriften. Bd. VIII. S. 85.

Zeit. Ganz besonderes Ansehen erlangte die Theorie von Volta *). Im Wesentlichen läuft dieselbe darauf hinaus, daß die Anfangs durch Kälte (entstanden durch schnelle Verdunstung) gebildeten Flocken zwischen zwei Wolken, von denen die eine positiv, die andere negativ elektrisch ist, sich so lange auf und nieder bewegen, bis entweder die elektrische Spannung der Wolken durch Wechselwirkung aufgehoben wird, oder die Schwere sie durch die Wolke treibt, worauf sie als Hagel niederfallen. Prechtl **), Bellani ***), Muncke ****) und Kämtz *****) haben sehr triftige Einwände dagegen vorgebracht, von welchen einer der bedeutendsten der ist, daß Volta, indem er die Bewegung der Hagelkörner auf den elektrischen Puppentanz zurück führt, die Wolke als einen festen Körper ansieht, auf dessen Oberfläche die erlangte Fallgeschwindigkeit der Körner zerstört werde. Nach den oben angeführten Beobachtungen von Rüppel, daß es in Abessinien oft, aber nie bei Gewittern hagle, und denjenigen von Lecoc bedarf dies jetzt wohl keiner weiteren Widerlegung.

Eine scharfsinnige Theorie des Hagels hat L. v. Buch aufgestellt †). Nach seiner Ansicht ist die äußere Eishülle das unmittelbare Product eines Verdampfungsprocesses. Der Hagel war in größeren Höhen Wasser. Damit aber die Verdampfungskälte beim Herabfallen der Wassertropfen ††) recht lebhaft werde, müssen die unteren Schichten unverhältnißmäßig erwärmt und der aufsteigende Luftstrom gegen Seitenströme geschützt sein. Das zwischen den Alpen und Pyrenäen liegende Frankreich scheint deshalb für die Hagelbildung besonders günstig zu sein. Die in beträchtlichen Höhen niedergeschlagenen Dämpfe gefrieren dann beim Fallen durch die Verdunstung. Das locale Vorkommen des Hagels würde sich hiernach sehr gut erklären und eben so der Einfluß sonst geringfügig scheinender Umstände, wie das oben angeführte Ausroden eines Gehölzes. Schübler †††) tritt dieser Theorie bei. Ideler ††††) macht folgende Einschränkung: „Die Hagelbildung geht in den höheren, unmittelbar unter der Wolke belegenen Schichten beim Durchfallen der Tropfen durch dieselben vor sich, nicht durch die ganze verticale Luftsäule bis zur Erdoberfläche. Vorzüglich günstige Bedingungen für die Entstehung des Hagels sind: Große Trockenheit in diesen Schichten, kältere Luftströmungen, welche wärmere Luftsäulen in bedeutender Ausdehnung unterbrechen 2c."

Ein Haupteinwand gegen diese Hypothese ist das Aussehen des Kernes im Hagelkorne. Fertig gebildete Tropfen werden Eiskugeln beim Gefrieren liefern.

Eine andere Hypothese hat Muncke *†) aufgestellt, der auch Kämtz **†)

*) Opere T. I., II. p. 353; Brugnatelli Giorn. T. I. p. 31, 129 u. 179; Gehlen's Journ. Bd. VII. S. 67, 223.

**) Gehlen's Journ. Bd. VII. S. 241—282.

***) Brugnatelli Giorn. T. X. p. 359.

****) A. a. O. Bd. V. S. 58.

*****) A. a. O. Bd. II. S. 528.

†) Abhandl. d. Berl. Akad. 1814—15. S. 73.

††) Vergl. Bischoff in Poggend. Ann. Bd. XXXVII. S. 260.

†††) Meteorol. S. 125. Schweigger's Jahrb. N. R. Bd. XIV. S. 231.

††††) Poggend. Ann. Bd. XVII S. 435. Untersuchungen über den Hagel und die elektr. Erschein. in unserer Atmosph. Leipzig 1833. S. 69.

*†) A. a. O. Bd. V. S. 68.

**†) A. a. O. Bd. II. S. 532 ff. Gehler's Wörterb. Bd. VI. S. 2024.

im Allgemeinen beistimmt. Nach ihm entstehen Graupeln, wenn die mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten in der Höhe mit kälterer Luft zusammentreffen. Beim Hagel sind nur die Bedingungen und Erscheinungen etwas verschieden.

Nach Kämtz ist zur Bildung eines Hagelwetters im Sommer nöthig, daß sich die Atmosphäre in großer Ruhe befinde, namentlich in den weiteren Entfernungen von der Oberfläche. Ferner muß eine lebhafte Einwirkung der Sonne auf den Boden stattfinden, wobei das Thermometer einen für die Jahreszeit ungewöhnlich hohen Stand erhält. Meistens ist dann die Atmosphäre dem Zustande der Sättigung nahe, die Hitze ist uns mehr oder weniger drückend, obgleich das Thermometer keineswegs einen entsprechend hohen Grad von Wärme anzeigt. Dadurch erhält die Luft eine sehr starke Steigkraft und der aufsteigende Strom wird um so lebhafter, da die Atmosphäre in den höheren Regionen eine Temperatur hat, welche weit geringer ist, als es die Temperatur der Ebene und das Gesetz, welches im Allgemeinen für die mittlere Abnahme der Wärme mit der Höhe gilt, erfordert *). Kämtz zeigt aus Beobachtungen, daß namentlich bei Hagelwettern (im Allgemeinen stets an Tagen, wo Gewitter entstehen) die Wärmeabnahme mit der Höhe der Atmosphäre ungleich bedeutender sei als gewöhnlich, z. B. in einem Falle nur $32^1/_2$ Toise für 1° C., so daß bei einer Erhebung von noch nicht 12000 Fuß der Wasserdampf schon in Schnee verwandelt werden kann. Steigt nun der Dampf in die Höhe, so kommt er nach und nach in Regionen, in welchen die Temperatur weit niedriger ist, als seine Expansivkraft erfordert; er wird daher condensirt (vergl. Art. Dampf Bd. II. S. 85). Die Federwolken, mit denen die Bildung eines Hagelwetters beginnt, sind Schneewolken, wie dieses aus den so häufig in ihnen erscheinenden Höfen zu schließen ist. Die Höhe dieser Federwolken setzt Kämtz auf 12000 Fuß, und berechnet die Temperatur daselbst auf — 25° C. Die Federwolken sind hiernach der eigentliche Sitz der Hagelbildung; doch würden die herabfallenden Schnee- und Eisgebilde beim Herabfallen schmelzen, die Schneeflocken verdunsten, wenn nicht noch andere Umstände einträten.

„Erst wenn die Atmosphäre so feucht ist, daß sich Cumuli bilden, wird die Verdunstung der Schneeflocken erschwert. Jetzt aber wird die Zahl und Ausdehnung der Luftströme immer größer, es können dann, wenn das stabile Gleichgewicht gestört ist, kalte Luftmassen mit großer Schnelligkeit in die Tiefe sinken und dadurch die Condensation befördern. Wenn dann eine solche Luftmasse sich senkt, so werden Winde nach allen Seiten wehen, was wir auch jedesmal bei Hagelwettern an dem Zuge der Wolken sehen, welche nach allen Richtungen mit ungeheurer Schnelligkeit eilend, einen hinreichenden Beweis von der großen Unruhe der Atmosphäre geben. Stürzt eine solche Luftmasse in die Tiefe, dann werden die Hagelkörner durch den Nimbus in die Tiefe geführt; sind die Körner selbst hinreichend groß, ihre Temperatur hinreichend niedrig, so wird in jedem Moment auf ihrer Oberfläche Dampf niedergeschlagen, ihr Volumen nimmt an Umfang zu. Wenn der erste Hagel herabfällt, so trifft er noch auf eine erwärmtere Luft; schlägt sich auf seiner Oberfläche ein Dampftheilchen nieder, so wird dies vielleicht noch die Gestalt eines Schneeflöckchens annehmen, aber im weiteren Verlaufe wird die Atmosphäre theils durch den kalten Hagel, theils durch den wahrscheinlich tiefer

---

*) Vergl. Art. Klima und Isothermen.

herabsinkenden kalten Luftstrom dem Zustande der Sättigung näher gebracht; das Wasser schlägt sich bei jedem folgenden Niederschlage auf der Oberfläche der Körner in größerer Menge nieder, es kann nicht mehr regelmäßig krystallisiren, sondern bildet eine dicke durchsichtige Rinde um den undurchsichtigen Schneekern."

Die merkwürdige Erscheinung, daß sich im Innern der Hagelkörner zuweilen fremdartige feste Körper befinden, kann man nur daraus erklären, daß diese Körper durch Winde oder Stürme in die Höhe geführt wurden, und daß die Eiskrystalle sich um sie anlegten nach der Erfahrung, daß spitze feste Körper die Eisbildung hervorzurufen pflegen, sobald überhaupt eine Disposition zu derselben stattfindet. (Vergl. Art. Eis Bd. II. S. 601.)

Die eigenthümliche Färbung der Hagelwolken hat wohl darin ihren Grund, daß über der unteren Wolkenschicht noch eine zweite sich befindet, die untere also im Schatten der oberen ist.

Die Elektricität, welche bei Hagelwettern häufig auftritt, ist keine Ursache der Hagelbildung, sondern, wo sie sich zeigt, eine Folge derselben.

Der Amerikaner Olmsted hat neuerdings ebenfalls eine Hageltheorie aufgestellt *), welche im Wesentlichen auch Löwe **), ohne Olmsted zu erwähnen, ausspricht. Polarströme nach Süden und Aequatorialströme nach Norden (in der Atmosphäre auf der nördlichen Halbkugel strömend) sollen in den höheren Regionen ihre Temperaturen beibehalten. Begegnen sich dann zwei solche Ströme, so wird der in dem einen enthaltene Wasserdampf durch die eintretende Abkühlung niedergeschlagen und in Eis verwandelt. Je niedriger die Temperatur des kälteren Windes, je größer der Fallraum ist, und je mehr Feuchtigkeit die Luft enthält, desto mehr vergrößern die mit einer außerordentlichen Kälte begabten Hagelkörner ihren Umfang.

Daß die Hagelwetter die oben angegebenen Grenzen haben, ließe sich hieraus wohl erklären, auch daß die Hagelwolken in der Regel von SW. nach NO. ziehen; aber unerklärt bleibt nach unserer Ansicht gerade das locale Vorkommen des Hagels, was nach den Theorien von L. v. Buch, Muncke und Kämtz keine Schwierigkeiten macht. Ueberhaupt erscheint die Olmsted'sche Theorie nur als ein in Bezug auf den Hagel modificirter Kampf der Aequatorial- und Polarströme, dessen Bedeutung auf die Witterungsverhältnisse der gemäßigten Zonen Dove aus einander gesetzt hat. H. E.

Hagelableiter. Von der Ansicht ausgehend, daß die Bildung des Hagels durch Elektricität bedingt sei, kam man auf den Gedanken, durch Ableitung der Elektricität mittelst Stangen, die Hagelwetter, ähnlich wie den Blitz, abzuleiten. Dergleichen Stangen nennt man Hagelableiter.

Guenaut de Montbeillard scheint 1776 zuerst einen derartigen Vorschlag gemacht zu haben ***). Durch eine ganze Menge von Blitzableitern sollte den Wolken alle Elektricität entzogen werden. Selbst zugegeben, daß die Elektricität die Ursache der Hagelbildung sei, während sie selbst jedoch nur eine Folge derselben

*) Silliman, Americ. Journ. of Science. T. XVII. p. 1; Edinb. New. Phil. Journ. No. XVIII. p. 244; Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. LXI. S. 154; Froriep's Notizen. Bd. XXVIII. Nr. 8.

**) Poggend. Ann. Bd. LXXX. S. 305.

***) Journ. de Phys. T. XXI. p. 146.

ist, (vergl. Art. Hagel) ist es unbegreiflich, wie man auf den Gedanken kommen konnte, eine ganze Gegend durch derartige Ableiter schützen zu wollen. Indessen gegen Unverstand ist der Kampf stets schwierig, und daher kein Wunder, daß der Vorschlag nicht unbeachtet blieb. Noch großartiger ist die Keckheit eines Apothekers La Postolle *), welcher behauptete, Stroh sei ein besserer Leiter der Elektricität, als Metalle, und daher zur Zerstreuung der Hagelwetter den Vorschlag machte, auf Feldern und in Weinbergen viele Stangen mit Strohseilen aufzurichten.

Um einer albernen Sache keinen unverdienten Werth beizulegen, erwähnen wir nur, daß in der Nacht vom 22. zum 23. Juli 1826 die mit Hagelableitern versehenen Weinberge des Canton de Vaud gänzlich verhagelten, während einige nicht damit versehene in der Umgegend verschont blieben **). Riecke ***) bestätigt ein Gleiches durch eine Menge von Beobachtungen, und nach v. Jacquin ****) haben die Hagelableiter in Ungarn und Illyrien ebenfalls keinen Schutz gewährt.

Der Vergleich mit dem Blitzableiter ist überdies nicht einmal begründet. Der Blitzableiter sorgt dafür, daß da, wo der Blitz einschlägt, kein Schaden angerichtet wird, zerstört aber keineswegs die Gewitterwolke. H. E.

Halbkugel, Magdeburger, s. Atmosphäre Bd. I. S. 473.

Harmonika. Mehrere musikalische Instrumente führen den Namen Harmonika; wir übergehen dieselben aber hier, da sie zweckmäßiger ihre Stelle bei den anderen musikalischen Instrumenten finden. Eine abgesonderte Betrachtung erfordert und gestattet hingegen die sogenannte chemische Harmonika, auf welche daher im vorliegenden Artikel namentlich Bezug genommen werden soll.

Wenn man in einer Flasche auf die gewöhnliche Weise Wasserstoffgas entwickelt, (s. d. Art. Wasserstoff) den Hals der Flasche mit einem Korke verschließt, welcher von einer dünnen Röhre von Glas oder Thon durchbohrt ist, aus welcher das Gas dann ausströmt, die Flamme an der äußeren Mündung des Rohres anzündet und über diese Flamme eine Röhre von Glas, Metall, Holz rc. stülpt, so entstehen eigenthümliche, summende, bald niedrige, bald höhere Töne. Eine solche Vorrichtung heißt eine chemische Harmonika.

Da der Versuch, wenn er mißglückt, bei der Bildung von Knallgas sogar mit Gefahr verbunden sein kann; so mögen noch einige genauere Bestimmungen folgen.

Die Flasche muß hinlänglich weit sein, damit die Gasentwickelung in gehöriger Menge vor sich gehen kann. Zu der engen Röhre kann man sich eines Stückes einer gewöhnlichen Thonpfeife bedienen, oder auch einer Glasröhre, welche oben in eine enge, offene Spitze ausgezogen ist. Das Gas darf nicht eher entzündet werden, bis man sich überzeugt halten kann, daß alle vor der Gasentwickelung in der Flasche befindliche atmosphärische Luft vertrieben ist, damit man nicht Knallgas in der Röhre habe, welches beim Entzünden leicht

*) Traité des parafoudres et des paragrêles en cordes de paille, cet. Amiens. 1820.
**) Bibl. univ. T. XXXIII. p. 50.
***) Correspondenzblatt des Würtemb. Landwirths. Vereins. Bd. VII. S. 225.
****) Oestr. Beob. 1825. W. 265.

eine Explosion veranlassen könnte. Man thut gut, die Röhre auf dem passenden Korke vor dem Aufsetzen mit Siegellack zu verpichen, und nach dem Aufsetzen ein Gleiches mit dem Korke und dem Flaschenhalse zu thun, nur muß man in diesem Falle das Siegellack nicht brennend auf den Kork bringen, weil dadurch schon eine Explosion herbeigeführt werden könnte. Die Flamme muß zwischen $1/2$ bis $1 1/2$ Zoll Länge haben. Die Röhren, welche über die Flamme gestürzt werden, müssen eine der Länge der Flamme entsprechende Weite von 1 bis 2 Zoll besitzen.

Die in Rede stehende Erscheinung scheint zuerst beobachtet worden zu sein von Higgins im Jahre 1777 *), später nahm sie auch De Luc zufällig wahr **). Mehrere Naturforscher sprachen sich über das Phänomen aus und stellten nähere Untersuchungen über dasselbe an, als Hermbstädt ***), der Graf Mussin Puschkin ****), Scherer *****), besonders Chladni †), später De la Rive ††), Geiger †††), Zenneck ††††) und Faraday †††††).

Aus den Untersuchungen ergab sich, daß die über die Flamme gestülpten Hohlkörper nicht nothwendig Röhren zu sein brauchen; Kolben, Retorten, Flaschen und dergl. eignen sich ebenfalls dazu; eben so können die Röhren auch oben verschlossen werden. Das Material dieser Körper hat ebenfalls keinen Einfluß, der Versuch ist gelungen mit Glas, Metall, Holz, und Faraday erhielt sogar recht gute Töne in einer Röhre, welche er blos aus zusammengerolltem Papiere gebildet hatte. Ferner können diese Körper gehalten werden, wo man will, ohne daß dadurch der Ton verändert würde; sie können sogar mit Tüchern umwunden sein.

Statt des Wasserstoffgases wendete man auch andere brennbare Gasarten an, namentlich gelang der Versuch Faraday, allerdings minder sicher, mit Kohlenoxydgas, überzeugender mit Kohlen-Wasserstoffgas, Weingeistdämpfen ꝛc., auch stellte er fest, daß eine Erhitzung der Röhre bis 100° C., wobei also kein Niederschlag der Dämpfe stattfindet, das Phänomen nicht hindert.

Nach Chladni ist der Klang der chemischen Harmonika als Klang eines Blaseinstrumentes zu betrachten. Es geschieht hierbei nichts Anderes, als daß durch die Flamme und durch die Strömung des sich entwickelnden Gases, auch durch ein fortdauerndes Einströmen der atmosphärischen Luft von unten, um dem Wasserstoffe den zum Brennen erforderlichen Sauerstoff zuzuführen, vielleicht auch durch das Entweichen des übrigbleibenden Stickgases, die in dem Gefäße enthal-

---

*) Nicholson's Journ. of Nat. Phil. New Ser. I. p. 129. IV. p. 33; Ann. Ch. Ph. T. VIII. p. 363.

**) Neue Ideen über Meteorologie. Bd. I. S. 138. §. 200.

***) Crell's chem. Ann. 1793. Bd. I. S. 355.

****) Göttling's Taschenb. 1795. S. 18.

*****) Gren's Journ. Bd. VIII. S. 375; desselben N. Journ. Bd. II. S. 509.

†) Hindenburg, Archiv der reinen u. angewandt. Math. 1794. Bd. I. S. 126. Neue Schriften der Gesellsch. Nat. Fr. Berlin 1795. Bd. I. S. 125; die Akustik von Chladni. Leipzig 1802. §. 78. S. 91—93 u. S. 307.

††) Journ. de Phys. T. LV. p. 165.

†††) Handbuch der Pharmacie, 2. Aufl. Heidelberg 1827. Bd. I. S. 244.

††††) Schweigg. Journ. Bd. XIV. S. 14.

†††††) Ann. Ch. Phys. T. VIII. p. 365.

tene Luftsäule der Länge nach in zitternde Bewegung gesetzt wird. (Von der longitudinalen Zitterung der Luft überzeugt man sich leicht durch das Gefühl, wenn man unter die Oeffnung des Gefäßes einen Finger hält.) Es finden hierbei ganz dieselben Gesetze statt, wie an Orgelpfeifen und Blaseinstrumenten; der Ton ist auch allemal derselbe, als wenn man hineinbläst. Bei einem an beiden Enden offenen Gefäße ist der tiefste Ton um eine Octave höher, als bei einem, welches nur unterwärts offen ist, weshalb man auch an einer Röhre, die an beiden Enden offen ist, durch Verstopfung des oberen Endes oder Zuhaltung desselben mit der Hand den Ton um eine Octave erniedrigen kann. Durch Verengerung der unteren Oeffnung, z. B. durch Unterhalten eines oder zweier Finger läßt sich der Ton etwas erniedrigen. Nach Zenneck erhält man mit einer Flöte verschiedene Töne, wenn man ein oder mehrere Löcher verschließt.

Ueberzieht sich das Innere der Röhre sehr mit Wasser, so zeigt sich der Ton nicht mehr, weil die Schwingungen der Luftsäule durch die Wassertropfen zu sehr gestört werden, oder weil sie in einer Mischung aus Luft- und Wasserdampf wegen der schnell wechselnden Dichtigkeit an sich unmöglich werden.

Zenneck hat eine Tabelle bekannt gemacht, welche die Töne angiebt, die in Röhren von gewisser Weite und Länge entstehen.

Nach Faraday sind der Grund der Erscheinung die schnell auf einander folgenden Explosionen des mit Sauerstoffgas verbrennenden Wasserstoffgases, wobei die Wände der Gefäße als Resonanz dienen; aber dann müßte der Ton nicht durch die Körperweite der Röhre, sondern durch die Aufeinanderfolge der Explosionen bestimmt werden, dieselbe Flamme folglich in allen Röhren denselben Ton erzeugen, welches nicht der Fall ist.

Nach Geiger kann man den Ton auch hervorbringen, wenn ein gewöhnliches Medicinglas zu $^3/_4$ mit Wasserstoffgas und $^1/_4$ mit atmosphärischer Luft gefüllt und das Gasgemenge angezündet wird, indem man die Mündung des Glases abwärts hält. Dies läßt sich leicht mit der Erklärung Chladni's, aber wohl schwerer mit der von Faraday in Uebereinstimmung bringen.

Chladni versuchte auch, ob er den Ton hervorbringen könne durch elektrische Ausströmungen aus einer Metallspitze, aber ohne Erfolg.

An die chemische Harmonika wird man unwillkürlich bei dem **Tönen erhitzter Röhren** erinnert, worüber Pinaud *) zwar nicht die erste Beobachtung gemacht, wohl aber die erste Untersuchung über die physikalische Entstehungsweise veröffentlicht hat **).

Später hat noch C. Marx ***) Beobachtungen bekannt gemacht; am aus-

*) Poggend. Ann. Bd. XLII. S. 610; L'Instit. No. 131. p. 366; Dove's Repertor. der Physik. Bd. III. S. 100.

**) Mit Anblasen von Kugeln an Thermometerröhren beschäftigt, hat auch der Bearbeiter dieses Artikels das Phänomen wahrgenommen und darüber mehrfache Versuche angestellt. Es war dies bereits im Jahre 1831, bei welcher Gelegenheit derselbe auch auf die Darstellung des Leidenfrost'schen Phänomens auf Glas geleitet wurde, welche er später (Poggend. Ann. Bd. LI. S. 444; vergl. auch Art. Dampf. Bd. II. S. 46) veröffentlichte. Hr. Prof. Dove ist so freundlich gewesen im Repert. a. a. O. sich der ihm gemachten Mittheilungen zu erinnern und dieselben zu erwähnen.

***) Erdmann's Journal für prakt. Chem. Bd. XXII. S. 129.

führlichsten aber sind die diesen Gegenstand betreffenden Untersuchungen von Sondhauß *) angestellt worden.

Die Erscheinung besteht ins Besondere darin, daß eine Röhre von zwei bis drei Millimeter Weite, wenn an dieselbe eine Kugel angeblasen ist, manchmal einen Ton hören läßt, so lange die Kugel und der Theil der Röhre, welcher dieser am nächsten ist, noch stark erhitzt sind.

Pinaud wiederholte den Versuch mit Röhren von verschiedener Länge und Weite und erhielt immer, je nach den Dimensionen derselben, bald höhere, bald tiefere Töne. Er bemerkte hierbei, daß die innere Wand der tönenden Röhre mit Feuchtigkeit bekleidet war, und vermuthete daher, daß Wasserdampf die Hauptursache der Erscheinung sei. Diese Vermuthung schien sich dadurch zu bestätigen, daß eine ausgetrocknete und mit trockener Luft an dem einen Ende zu einer Kugel angeblasene Röhre keinen Ton hervorbrachte, dieselbe Röhre aber sogleich deutlich tönte, als Röhre und Kugel inwendig befeuchtet und darauf letztere erhitzt wurde.

Hierauf gründete Pinaud seine Erklärung des Phänomens, welche auf Folgendes hinausläuft. Die in der Kugel befindliche Feuchtigkeit wird durch die Wärme ausgedehnt, und verdichtet sich darauf an den Wänden der kalten Röhre. Dadurch entsteht ein leerer Raum, welcher durch die feuchte Luft sogleich wieder ausgefüllt wird. Diese Luft bringt aufs Neue Feuchtigkeit in die Kugel, welche wiederum ausgedehnt und in der Röhre niedergeschlagen wird, so daß durch die fortwährende Unterbrechung des Gleichgewichts die Lufttheilchen in der Röhre parallel der Axe hin und herbewegt und dadurch in tönende Schwingungen versetzt und erhalten werden.

Es wäre demnach dies Phänomen ein Analogon der chemischen Harmonika, indem der Unterschied beider Tonbildungen nur darin beruht, daß im ersten Falle der Wasserdampf schon fertig vorhanden ist, im letzteren aber erst aus seinen Elementen gebildet wird.

Da mir selbst der Versuch mit Wasser und Spiritus, nicht aber mit Quecksilber gelang, so war ich nicht abgeneigt, diese Erklärung zu adoptiren; indessen hat Sondhauß wohl durch seine Untersuchungen außer Zweifel gestellt, daß die Gegenwart von Dämpfen die Erzeugung des Tones nicht bedingt, und somit kann Pinaud's Erklärung nicht als richtig anerkannt werden.

Sondhauß verfertigte zwei Apparate von nebenstehender Form mit einem ziemlich weiten Röhrchen a d am Ende der Kugel, und gab denselben solche Dimensionen, daß sie bei mäßiger Hitze den Ton leicht und sicher angaben. Hierauf öffnete er das Röhrchen a d durch Abbrechen der Spitze, setzte den Propfen auf das Rohr des Blasetisches und trieb längere Zeit einen Luftstrom hindurch. Nachdem auf diese Weise Rohr und Kugel des Apparates lufttrocken gemacht waren, wurde die Spitze des Röhrchens a d wieder zugeschmolzen, die Kugel erhitzt, und der Ton entstand wie vorher. Bei dem zweiten Versuche wurde noch die Röhre und Kugel des Apparates einige Mal stark erhitzt, und dann der Luftstrom durchgetrieben. Der Apparat ertönte ebenfalls. — Das einzige Bedenken wäre hier nur, daß die durchströmende Luft nicht ausgetrocknet, sondern nur lufttrocken war.



*) Poggend. Ann. Bd. LXXIX. S. 1.

Marx, welcher ebenfalls die Gegenwart von Dämpfen für unwesentlich hält, giebt die nicht ganz deutliche Erklärung, daß der Ton von der aus der erhitzten Kugel hinausgetriebenen Luft herrühre, deren Stoß die kältere Luft, auf welche sie treffe, in Schwingungen versetze. Woher die Stöße kommen sollen, die doch stehende Schwingungen veranlassen müßten, ist nicht recht einzusehen.

Es stellt nun Sondhauß folgende Erklärung auf: Durch die allmälige Erhitzung der Kugel wird die in derselben befindliche Luft ausgedehnt und tritt bei der Zunahme der Wärme fortwährend in die Röhre, bis endlich ihre Verdünnung einen solchen Grad erreicht hat, daß ihr der Druck der äußeren Luft das Gleichgewicht hält. Es wird dies eintreten, wenn die durch die Wirkung der Flamme herbeigeführte Wärmezunahme dem Wärmeverluste durch die Abkühlung im Ganzen gleich ist.

Da die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, und wegen des kleinen Querschnitts der Röhre eine Circulation zwischen der warmen und kalten Luft in der Kugel und der Röhre nicht entsteht, so wird sich in der Röhre, in der Nähe der Stelle, wo sie in die Kugel mündet, eine Grenze zwischen der warmen und kalten Luft vorfinden, welche aber in beständiger Bewegung auf- und abschwankt, weil das Gleichgewicht zwischen der heißen Luft in der Kugel und der äußeren kalten durch die Abkühlung beständig gestört, durch die fortdauernde Wirkung der Flamme aber wieder hergestellt wird. Die bei dieser Bewegung aus der Kugel tretende heiße Luft kühlt sich in der kälteren Röhre etwas ab und zieht sich deshalb wieder zusammen; die Luftsäule in der Röhre dringt in Folge des atmosphärischen Drucks nach, und es wird hierdurch die Luft in der Kugel mit dem erlangten dynamischen Momente sogar etwas comprimirt. Im nächsten Augenblicke dehnt sich aber die Luft in der Kugel, sowohl in Folge dieser Compression, als auch wegen der rasch erfolgenden Erhitzung und Expansion der eingedrungenen kälteren Luft wieder aus, die Luftsäule in der Röhre wird mit der entsprechenden Geschwindigkeit nach außen bewegt, und setzt diese Bewegung auch noch einen Augenblick fort, wenn die Luft in der Kugel nicht mehr durch die Hitze ausgedehnt wird, wodurch in der Kugel einen Moment hindurch eine größere Verdünnung entsteht, als der Temperatur der heißen Luft entspricht. Hierauf erfolgt wieder die entgegengesetzte Bewegung. Ist die Größe und die Erhitzung der Kugel ausreichend, dieser oscillirenden Bewegung, die den Dimensionen der ganzen eingeschlossenen Luftsäule entsprechende Geschwindigkeit zu geben, so entsteht der Ton. Wenn die Luftsäule einmal in Vibration versetzt ist, so kann die Hitze der Kugel auch etwas abnehmen, ohne daß der Ton aufhört. Deshalb tönen die Apparate noch einige Zeit, nachdem man die Kugel von der Flamme entfernt hat.

Hiernach sind die Schwingungen in den erhitzten Röhren analog den Schallschwingungen in gedeckten Pfeifen; nur ist die Art der Erregung derselben eine sehr verschiedene, indem in diesen die Luft von Außen durch einen Luftstrom comprimirt, in jenen im Innern durch Erwärmung verdünnt wird. Daß Dämpfe, die in der Kugel enthalten sind, die Entstehung des Tones begünstigen, ist nach dieser Erklärung um so wahrscheinlicher, als die Elasticität der Dämpfe in hoher Temperatur sehr rasch zunimmt.

Sondhauß hat als Flüssigkeit nicht nur Wasser angewendet, sondern auch Weingeist und Aether, selbst mit Quecksilber will es ihm geglückt sein. Schwefel-

ätherdampf ergab sich weniger vortheilhaft, als der Dampf von Weingeist oder Wasser.

Es sei hier noch bemerkt, daß der Ton nicht in Folge der Schwingungen des Glases entsteht, denn man kann die Röhre und die Kugel während des Tönens an jeder beliebigen Stelle berühren und festhalten, ohne daß im Tone irgend eine Aenderung erfolgt.

Durch Schrotkörner, welche Sondhauß in einen gut ansprechenden Apparat brachte, ergab sich, daß eine Temperatur von ungefähr 310° C. ausreichte, um den Ton zu erzeugen, denn die Körner schmolzen nicht alle. Bei abgeänderten Dimensionen kann indessen eine stärkere Erhitzung nothwendig werden. Die Erhitzung der Stelle, an welcher die Kugel an der Röhre sitzt, ist besonders wichtig.

Die Höhe des Tones ändert sich mit den Dimensionen der Kugel, der Weite und Länge der Röhre und, wenn man zwischen Kugel und Röhre einen engeren Hals anbringt, mit der Weite und Länge dieses. Pinaud fand:

1) Der Ton ist, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, desto tiefer, je länger die Röhre ist.
2) Bei gleichen Dimensionen der Röhre ist der Ton desto tiefer, je größer die Kugel ist.
3) Alle übrigen Umstände gleich gesetzt, ist der Ton desto höher, je größer der Durchmesser der Röhre.

Für die Zahl der Tonschwingungen giebt Pinaud die Formel:

$$n = C \frac{r^\alpha}{l^\beta R^\gamma},$$

wo n die Anzahl der Schwingungen, l die Länge der Röhre, r den Durchmesser derselben und R den Durchmesser der Kugel bedeuten, C, α, β und γ aber Constanten sind, zu deren Bestimmung jedoch seine Versuche nicht ausreichen. Ueberdies müssen wir bemerken, daß diese Formel unmöglich richtig sein kann, da für $R = o$, wo der Ton des Systems dem Tone der bloßen Röhre gleich sein muß, n unendlich wird.

Marx findet in Beziehung auf die halsähnliche Verengung der Röhre außerdem, daß der Ton tiefer wird, wenn der Hals länger und enger wird.

Die Gestalt der an die Röhre angeblasenen Erweiterung, die gewöhnlich kugelförmig gemacht wird, ist nach Sondhauß gleichgültig.

Ueber die Schwingungsverhältnisse hat Sondhauß sehr ausführliche Untersuchungen angestellt. Seine Resultate sind folgende:

Die Schwingungszahl steht im umgekehrten Verhältnisse zur Quadratwurzel der Röhrenlänge; desgleichen im umgekehrten Verhältnisse zu der Quadratwurzel aus dem Volumen der Kugel; im directen Verhältnisse zu der Quadratwurzel aus dem Querschnitte der Röhre.

Man erhält also allgemein:

$$n = C \sqrt{\frac{S}{V L}},$$

wo n die Schwingungszahl, C eine Constante, V das Volumen der Kugel, S den Querschnitt und L die Länge der Röhre bedeutet. Denkt man sich die Kugel in

eine Röhre verwandelt, welche eben so weit ist, als die Röhre des Apparats und bezeichnet deshalb V : S mit L′, so wird die Formel:

$$n = \frac{C}{\sqrt{L \cdot L'}},$$

wonach die Schwingungszahl im umgekehrten Verhältnisse steht zur geometrischen mittleren Proportionale aus der Länge des Apparats und aus der Länge einer eben so weiten Röhre, welche mit der Kugel gleichen Inhalt hat.

Sind die Apparate, für welche man die Schwingungszahl des Tones berechnen will, sämmtlich einander ähnlich, so wird die Formel noch viel einfacher, da das Volumen der Kugel zu dem der Röhre in diesem Falle ein bestimmtes Verhältniß hat. Ist z. B. V : S oder $L' = \alpha^2 L$, so ist:

$$n = \frac{C}{\alpha L}.$$

Die Schwingungszahl des Tones steht also bei einander ähnlichen Apparaten im umgekehrten Verhältnisse zur Länge der Röhre.

Sondhauß hat den Werth der Constante C aus den Dimensionen mehrerer durch Erwärmung der Kugel ansprechender Apparate und der Schwingungszahl der beobachteten Töne bestimmt und denselben im Mittel gefunden: C = 104400. Die Uebereinstimmung der durch Rechnung für n gefundenen Werthe mit den Schwingungszahlen der beobachteten Töne war überraschend. H. E.

Harze (lat. resinae), nennt man eine große Classe von Körpern, die im Allgemeinen in Wasser unlöslich, in Alkohol aber löslich, durchsichtig oder durchscheinend, Nichtleiter der Elektricität sind, aber beim Reiben negativ elektrisch werden, bei gelinder Wärme schmelzen, bei einer höheren Temperatur sich zersetzen und hierbei einen kohligen Rückstand hinterlassen, im reinen Zustande keinen Geruch und Geschmack besitzen. Wegen der Abweichung in der Zusammensetzung und der Verschiedenheit in den chemischen Eigenschaften hat man jedoch einige Körper, wenn gleich sie in physikalischer Hinsicht mit den Harzen übereinstimmen, davon ausgenommen. Die größte Zahl der Harze stammt von Pflanzen her; sie werden so allgemein in diesen angetroffen, daß wohl kaum eine wird aufzufinden sein, in der man nicht eine hierher gehörige Verbindung nachzuweisen im Stande wäre. Außerdem findet man sie in nicht unbeträchtlicher Anzahl fossil, glaubt aber hier ihre Entstehung auf eine vorweltliche Vegetation zurückführen zu können. Auch das Thierreich hat einige harzartige Stoffe aufzuweisen, doch nur in sehr geringer Anzahl und andere wieder sind Producte der trocknen Destillation.

Alle Harze enthalten Sauerstoff, jedoch nur in geringer Menge, so daß sie entzündet fortbrennen mit einer hellen, stark rußenden Flamme; sie sind ternär zusammengesetzt. Die stickstoffhaltigen quaternären Verbindungen dieser Art hat man zu den organischen Basen gestellt. In der Natur kommen die Harze nicht krystallisirt vor, aus der Lösung in Alkohol aber schießen viele in dieser Form an. Die Mehrzahl ist auch in Aether, ätherischen und fetten Oelen löslich, hier jedoch eben so wie beim Alkohol in einem sehr verschiedenen Grade. Auch von Schwefelkohlenstoffe werden viele Harze aufgelöst; von concentrirter Salz- und Essigsäure jedoch nur in sehr geringer Menge. Die Lösung in Alkohol wird bei Zusatz von Wasser milchig. Concentrirte Schwefelsäure färbt die Harze meist

braun oder roth und löst sie auf. Durch Wasser werden sie aus der Lösung wieder abgeschieden. Durch Salpetersäure werden sie bei heftiger Einwirkung zersetzt; die Producte sind je nach der Dauer der Einwirkung verschieden. Zuletzt tritt Oxalsäure auf. Gemeinhin sind die Harze bei gewöhnlicher Temperatur fest und spröde, so daß sie sich leicht pulvern lassen; andere sind jedoch weich, aber wohl nur wegen fremder Beimischungen, die ihnen oft auch Geruch und Geschmack ertheilen. In heißem Wasser erweichen sie und lassen sich dann in dünne Fäden ausziehen; zum Schmelzen kommen sie hier jedoch nicht. Das specifische Gewicht liegt zwischen 0,9 — 1,2. Bei der trocknen Destillation liefern die Harze etwas sauer reagirendes Wasser, flüssige Kohlenwasserstoffe, Kohlensäure und brennbare Gase; eine geringe Menge einer porösen glänzenden Kohle bleibt dabei zurück.

In manchen Pflanzen, so durchweg im Geschlechte Pinus und der Gattung Copaifera, ist Harz in großer Menge vorhanden, so daß es mancherlei Zwecke wegen, daraus gewonnen wird. Einige Harze finden sich hier im flüssigen Zustande — von flüchtigen Oelen aufgelöst — und fließen theils freiwillig, theils aus gemachten Einschnitten reichlich aus. In diesem Zustande nennt man sie Balsame. Bleiben sie der Luft längere Zeit ausgesetzt, so verflüchtigt sich das Oel theilweise oder es nimmt Sauerstoff an und verwandelt sich gleichfalls in Harz. Hierdurch wird die mehr oder weniger dickflüssige Masse nach und nach zähe und selbst fest und spröde. Derselbe Vorgang findet statt, wenn man die Oele mittelst Wasser abdestillirt; setzt man das Kochen lange genug fort, so kann das Oel ganz entfernt werden. Kommt das Harz in fester Form in den Pflanzen vor, so zieht man es mit Weingeist oder Aether aus, läßt die Fette und das Wachs sich ausscheiden, versetzt die Lösung mit Wasser und destillirt den Spiritus ab. Durch anhaltendes Austrocknen im Wasserbade kann der letzte Rest des Wassers entfernt werden. Auf dieselbe Art gewinnt man auch Harze aus den sogenannten Gummi- oder Schleimharzen — Gemengen von Harzen mit Pflanzenschleim, Gummi und anderen Stoffen, die durch Eintrocknen von Milchsäften entstehen. — Einige wenige Harze erzeugt man künstlich; so aus den Brandölen, aus den Aldehyden durch Kochen mit Kali, aus Farbestoffen durch die Einwirkung von Salpetersäure ꝛc. Die meisten Harze sind Gemenge mehrerer verschiedener, die sich jedoch nur schwierig rein darstellen lassen. Die Trennung beruht auf der verschiedenen Löslichkeit in kohlensauren und kaustischen Alkalien, in kaltem und heißem Alkohol, Aether ꝛc. Im Allgemeinen sind unsere Kenntnisse dieser verschiedenen Verbindungen noch sehr dürftig. Unverdorben theilt die Harze *) in elektronegative oder saure und indifferente. Die letzteren lösen sich nicht in kaustischen Alkalien, während die anderen damit Verbindungen eingehen und Lackmuspapier röthen. Das Verhalten ist jedoch auch hier ein verschiedenes und deshalb nimmt er drei Unterabtheilungen an. Die α oder stark elektronegativen Harze verbinden sich sehr leicht mit Ammoniak und diese Verbindungen lösen sich sehr leicht in Wasser. Die β oder mittelmäßig elektronegativen Harze verbinden sich mit dem Ammoniak bei gewöhnlicher Temperatur und zersetzen das essigsaure Kupferoxyd und kohlensaure Natron. Löst man die Ammoniakverbindung in Wasser und kocht, so entweicht das Ammoniak und das Harz fällt nieder. Zu dieser Abtheilung gehört die bei weitem

*) Poggend. Ann. Bd. XI. S. 28.

größte Zahl der Harze. Die α und β Harze gehen in einander über und trennen sich nicht scharf. Die Auflösung beider in Alkohol röthet Lackmuspapier. Die γ oder schwach elektronegativen Harze verbinden sich bei gewöhnlicher Temperatur nicht mit wässerigem Ammoniak; sie zersetzen essigsaures Kupferoxyd nicht, wohl aber das essigsaure Bleioxyd. Sie sind in kohlensaurem Natron nicht löslich, aber in kaustischem Kali und Natron. Die Auflösung in Alkohol röthet Lackmuspapier erst beim Erwärmen. Die sauren Eigenschaften der Harze treten um so deutlicher hervor, je mehr Atome Sauerstoff sie enthalten. Scheidet man die Harze aus ihren Verbindungen mit Basen durch eine Säure ab, so tritt an die Stelle der Base Wasser, das bei 100° nicht entfernt werden kann. In diesem Zustande sind sie gewöhnlich in Wasser etwas löslich, nehmen leicht Sauerstoff auf und gehen wieder in elektronegative Harze über.

Berzelius und Thierry haben beobachtet, daß saure Harze sich mit ätherischen Oelen verbinden und gleichsam gepaarte Säuren bilden. Setzt man z. B. zu venetianischem Terpentin Basen, so bildet sich eine Verbindung ohne daß sich Terpentinöl ausscheidet; zerlegt man diese Verbindung durch Säuren, so scheidet sich der Terpentin unverändert wieder ab. Dasselbe Verhalten zeigt auch der Copaivabalsam.

Die Untersuchung der Harze und ätherischen Oele hat ergeben, daß beide der Zusammensetzung nach in einem gewissen Verhältniß zu einander stehen. Wir haben ja bereits bei der Gewinnung der Harze bemerkt, daß ätherische Oele in Harze übergehen. Ferner ist es sehr wahrscheinlich, daß die Balsame ursprünglich ätherische Oele gewesen sind, bei denen aber bereits im Innern der Pflanze eine Oxydation (Verharzung) eingetreten ist. Als Uebergangsstufen sieht man die Stearoptene und die sauerstoffhaltigen ätherischen Oele an. Verharzt nun auch das ätherische Oel in den Balsamen sehr schnell, sobald letztere aus den Pflanzen ausgetreten sind, so wird doch nicht alles Oel umgewandelt; die äußere Harzhülle, die sich sehr bald bildet, schützt im Gegentheil das im Innern sich befindende Oel vor der Einwirkung der Luft. Wollte man hiernach annehmen, daß dies die allgemeine Entstehungsart der Harze sei, so muß doch gesagt werden, daß sowohl in der Natur, wie auch künstlich Harze gebildet werden, bei denen man den Uebergang aus einem ätherischen Oel nicht nachweisen kann. Eben so wenig ist es bis jetzt künstlich gelungen aus den ätherischen Oelen Harze, wie sie in der Natur vorkommen, darzustellen.

Durch bloße Aufnahme von Sauerstoff können auch keine Harze entstehen. Vergleichen wir die Formeln beider, so scheint ein Verlust von Wasserstoff stattzufinden, der sich als Wasser ausscheidet. So z. B. können wir die Sylvinsäure (C^{40} H^{30} O^{2}), die mit Terpentinöl gemeinschaftlich vorkommt, als aus 2 Atomen desselben (C^{40} H^{32}) durch Aufnahme von 4 At. Sauerstoff unter gleichzeitiger Abscheidung von 2 At. Wasser entstanden ansehen. Heldt hat zwar *) eine Reihe von allgemeinen Gesetzen für die Entstehung der Harze aus den ätherischen Oelen aufgestellt, für welche, seiner Meinung nach, die vorangehenden Entwickelungen einen genügenden Aufschluß geben sollen, von Anderen aber sind weder diese Gesetze noch die Stützen derselben anerkannt worden. Ihm selbst ist es auch nicht

*) Ann. d. Chemie und Pharm. Bd. LXIII. S. 78.

gelungen, obgleich er eine große Reihe von Versuchen angestellt hat, ätherische Oele in Harze umzuwandeln, eine einzige Thatsache für die Bewahrheitung seiner Ansichten beizubringen. Eben so wenig wissen wir über die Bedeutung der Harze für das Leben der Pflanze. Die allgemeine Ansicht ist, daß sie als Excretionen, also Auswurfsstoffe, die nicht weiter bei der Ernährung der Pflanzen zu verwerthen, anzusehen seien. Beweisen läßt sich dies aber nicht, weshalb auch diese Deutung Anfechtung erleidet, ohne daß aber etwas Anderes mit Sicherheit an ihre Stelle gesetzt werden könnte.

Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein die große Menge der Harze einzeln zu beschreiben; auf einige aber, die im Leben eine Verwendung finden, müssen wir näher eingehen. Von den übrigen geben wir nur die Namen und wo es nöthig ist, die Literatur. Wir folgen hier der natürlichen Eintheilung in flüssige (natürliche Balsame, zu denen die Franzosen jedoch nur die Harze rechnen, welche Benzoësäure enthalten) und feste Harze. Das wichtigste unter den ersteren ist der Terpentin, von verschiedenen Pinusarten herrührend. Nach der äußern Beschaffenheit und Herkunft unterscheidet man verschiedene Sorten, die in sofern übereinstimmen, daß sie alle aus Harz und Terpentinöl bestehen. Der gemeine Terpentin kommt von der Tanne (Pinus sylvestris) und von der Fichte (Pinus abies). Nach Unverdorben besteht er aus dem Terpentinöl und zwei einfachen Harzen: der Pininsäure, deren Existenz jedoch zweifelhaft ist und Sylvinsäure ($C^{40} H^{30} O^2$) oder auch α Harz und β Harz genannt *). Der Gehalt an flüchtigem Oel wechselt zwischen 5 — 25 Proc.; nach der Entfernung desselben durch Destillation mit Wasser kann man die beiden Harze durch Alkohol trennen; das α Harz wird davon aufgelöst. Ein drittes indifferentes (γ) Harz ist nur in äußerst geringen Mengen vorhanden. Der venetianische Terpentin, aus Pinus Larix in Steiermark, Ungarn, Tyrol und der Schweiz gewonnen, enthält 18 bis 24 Proc. Oel, das sich bei der Destillation in zwei Theile trennt, von denen der weniger leicht flüchtige sich leicht verharzt. Das Wasser enthält Bernsteinsäure und außer den beiden Harzen des gemeinen Terpentin findet man hier noch ein drittes eigenthümliches (γ) Harz. Der Straßburger Terpentin von Abies pectinata, 35 Proc. flüchtiges Oel enthaltend, stimmt mit dem kanadischen von A. balsamica, dem aus den Vogesen von A. excelsa, aus den Karpathen von Pinus cembra und Ungarn von P. Mughus überein. Der gemeine französische Terpentin von Bordeaux — von Pinus maritima — enthält ein eigenthümliches Harz (Pimarsäure, $C^{40} H^{30} O^2$), deren Existenz aber in neuerer Zeit gleichfalls sehr zweifelhaft geworden ist, so daß man geneigt ist die drei verschiedenen Säuren als eine, die durch geringe Beimengungen modificirt worden, oder aber als isomere Verbindungen zu halten. Der cyprische Terpentin von Pistacia terebinthus ist der eigentliche Terpentin der Alten.

---

*) Man hat zwar versucht den einfachen Harzen besondere Namen zu geben, wollte man aber dies strenge durchführen, so würde dadurch die Uebersicht aller hierher gehörigen Körper sehr erschwert werden, da Harze vorkommen, die fünf und mehr besondere Bestandtheile haben. Deshalb hat schon Unverdorben dem Namen des Harzes Buchstaben vorgesetzt, um die einzelnen Verbindungen zu unterscheiden. Berzelius hat zu diesem Zweck als passender das griechische Alphabet gewählt und zwar für die elektronegativsten die ersten Buchstaben desselben.

Der Copaivabalsam stammt von vielen Species der Gattung Copaifera (Leguminosen in Brasilien und auf den Antillen). Mit der Zeit wird er fest, ohne jedoch brüchig zu werden und verliert dabei seinen Geruch. Das flüchtige Oel läßt sich nur schwierig durch Destillation trennen, die Harze sind eigenthümliche. Das α Harz (die Copaivasäure, ($C^{40}H^{30}O^{4}$), also dem gewöhnlichen Kampher polymer) zeichnet sich unter allen durch die große Neigung zum Krystallisiren aus. Digerirt man den Balsam mit Ammoniak, so scheiden sich achtseitige Prismen aus, die mit Aether gewaschen und aus Alkohol umkrystallisirt werden. Das β Harz scheint ein Product der Verharzung aus dem Oel zu sein; ältere Balsame enthalten davon mehr als jüngere. Der Balsam ist ein geschätztes Arzeneimittel und wird deshalb oft verfälscht, besonders mit Terpentinöl und fetten Oelen. Die Gegenwart des letzteren erkennt man nach der Entfernung des flüchtigen Oeles an dem fetten und schmierigen Rückstand, während bei einem unverfälschten Balsam das zurückbleibende Harz fest und spröde ist. Die Kennzeichen einer ächten Waare sind folgende: auf Zusatz von $^1/_4$ Ammoniak bildet sie ein klares Gemisch; eben so mit der gleichen Menge Kalilauge, die $^1/_8$ Kalihydrat enthält; bei Zusatz von mehr Lauge entsteht Trübung und ein Kalisalz scheidet sich aus, das in Wasser, Aether und Alkohol sich klar wieder löst. Aus einem Gemisch von 9 Th. Balsam und 2 Th. Ammoniak scheidet sich das krystallisirte Harz in reichlicher Menge ab. Seit einiger Zeit kommt ein sehr dünnflüssiger Balsam in den Handel, der jedoch nicht als verfälscht anzusehen ist, sondern nur als frischer und darum ölreicher.

Angenehm riechende Balsame sind: der Meccabalsam (Balsam. gileadense, Opobalsamum) von Amyris Gileadensis in Arabien; der Perubalsam von Myroxylon peruiferum in Peru, Mexico rc.; der Tolubalsam von Toluifera Balsamum in Honduras und der flüssige Storax von Liquidambar styraciflua in Nordamerika und Altingia excelsa in Ostindien, Cochinchina und Java. Sie enthalten theils Cinnamëin, theils Styracin, außerdem Benzoësäure oder Zimmtsäure, ätherische Oele und Harze. Aus dem weißen peruanischen Balsam, der durch kaltes Pressen aus dem Innern der Frucht und den Samen erhalten wird, während die Rinde den schwarzen liefert, hat Stenhouse durch Alkohol, Filtriren durch Thierkohle und Umkrystallisiren ein in farblosen Säulen dem salpetersauren Silberoxyd ähnliches, krystallisirendes Harz, das Myroxocarpin ($C^{48}H^{35}O^{6}$) dargestellt.

Noch sind hierher zu rechnen der chinesische Firniß von Augia sinensis und der japanische von Rhus Vernix (Melanorrhoea usitata).

Von den festen Harzen haben wir anzuführen das Fichtenharz. Läßt man den Terpentin an den Bäumen eintrocknen, so erhält man das weiße Harz, Galipot, das noch 10 bis 15 Proc. Oel enthält. Destillirt man dieses mit Wasser ab, so bleibt als Rückstand das weiße Pech oder Burgunder Harz. Destillirt man Terpentin, so daß nicht alles Oel übergegangen ist und schmilzt man den Rückstand, um die letzten Antheile des Oeles zu entfernen, dann nennt man denselben gekochten Terpentin. Setzt man aber die Destillation so lange fort, daß der Rückstand eine mehr oder weniger gelbbraune Farbe besitzt, so führt er den Namen Colophonium oder im Deutschen nach seiner bekannten Verwendung Geigenharz. Der Rückstand von der Destillation des Theeres aus Kienholz liefert das gewöhnliche schwarze Pech. Diese verschiedenen Harze

kommen besonders aus Frankreich und Nordamerika. Im nördlichen Schweden wird ein aus den Fichtenstämmen ausschwitzendes Harz (Tuggkada) vom Volke gekaut. Unverdorben erhielt aus einem an der Luft erhärteten Terpentin mehrere Substanzen, welche im frischen nicht vorkommen. Im Colophonium waltet die Pininsäure bedeutend vor; außerdem ist darin noch mehr oder weniger Kolopholsäure enthalten, die beim Schmelzen aus der Pininsäure entstanden ist. Nach Blanchet und Sell *) verdanken die beiden Harze im Colophonium ihre Entstehung, das eine dem Oel, welches die Basis des festen, das andere dem Oel, welches die Basis des flüssigen der von ihnen dargestellten salzsauren Terpentinöle bildet und die sie Dadyl und Pencyl nennen.

Fremy hat Colophonium, nachdem er es von Terpentinöl befreit hatte, der Destillation unterworfen **). Das Resultat war ein dickflüssiges, bei 250° siedendes Oel, von ihm Resineïn ($C^{20} H^{14} O$) genannt und Wasser. Salpetersäure verwandelt es in einen harzähnlichen Körper. Ferner destillirte er Colophonium mit dem achtfachen Gewicht gelöschten Kalks, wobei er zwei Flüssigkeiten, das Resinon ($C^{20} H^{18} O^2$) — eine farblose, ätherartige, bei 78° siedende Flüssigkeit — und das Resineon ($C^{30} H^{23} O$) — weniger dünnflüssig und erst bei 148° siedend erhielt. Pelletier und Walter haben das bei der Bereitung des Leuchtgases aus Harz abfallende Oel näher untersucht ***). Das rohe Oel beträgt fast 1/3 des angewendeten Harzes von Pinus maritima. Der Fabrikant unterwirft es der fractionirten Destillation und erhält so verschiedene Producte. Zwischen 130 bis 160° destillirt die sogenannte flüchtige Essenz über; die Temperatur steigt dann schnell bis 280° und nun destillirt bis 350° das fixe Oel über. Zu gleicher Zeit sublimirt Naphtalin. Hat die Temperatur 350° erreicht, so tritt eine fette Substanz auf. Diese Producte der Fabrik waren es nun, welche die genannten Chemiker näher untersuchten. Aus dem ersten erhielten sie Retinyl ($C^{18} H^{12}$), eine farblose Flüssigkeit, die bei 150° siedet ohne Rückstand zu hinterlassen, und Retinaphta ($C^{14} H^8$) — eine vollkommen klare Flüssigkeit, von angenehmem Geruch, stark lichtbrechend, bei 108° C. siedend und bei — 20° noch flüssig bleibend. Dasselbe Product erhält man auch bei der trocknen Destillation des Tolubalsams und des Drachenblutes. Außerdem war in der flüchtigen Essenz noch Naphtalin und ein färbender Stoff enthalten. Das fixe Oel enthielt Essigsäure, eine bituminöse Substanz, die beiden schon genannten Kohlenwasserstoffe und eine krystallinische Substanz, die auch in dem dritten rohen Product enthalten ist. Von allen diesen Beimengungen befreit zeigte sich das fixe Oel als Retinol ($C^8 H^4$), Kochpunkt 238°. Beim Behandeln mit Salpetersäure in der Wärme bildet sich keine Blausäure, sondern eine ölige stark gefärbte Flüssigkeit und dadurch unterscheidet es sich vom Retinyl. Aus der fetten Substanz stellten sie das Metanaphtalin oder Retisteren dar — eine weiße krystallinische Masse, die bei 67° schmilzt und bei 323° siedet. — Nach Böttger ****) erhält man bei der Destillation des Colophons, die in England fabrikmäßig betrieben wird, verschiedene technisch gut zu verwerthende Producte; zuerst ein stark sauer reagirendes Wasser

*) Ann. d. Pharm. Bd. VI. S. 279.
**) Ann. de Chim. et de Phys. T. LXIX. p. 13.
***) Poggend. Ann. Bd. XLIV. S. 81.
****) Jahrber. d. phys. Verein. z. Frankfurt a. M. 1852—53. S. 15.

in bedeutender Menge (Holzessig mit Holzgeist), dann ein schmutzig braun und grün gefärbtes, stark schillerndes Oel, das sich bei der fractionirten Destillation über Kalk als Terpentinöl erwies und zuletzt bei etwas erhöhter Temperatur ein ölartiges Product, das als Maschinenschmiere auch bei uns in den Handel gekommen ist. Im gereinigten Zustande hat es große Aehnlichkeit mit einem Pflanzenöle, liefert jedoch keine Spur von Akrolein. Im rohen Zustande reagirt es stark sauer und muß deshalb über Kalk rectificirt werden. Bei — 12° R. verdickt es sich ein wenig, aber selbst bei — 16° R. gefriert es noch nicht.

Copal kommt von Hymenaea verrucosa. Der ostindische ist der beste, der amerikanische und afrikanische werden weniger geschätzt. Der Copal von Madagascar kommt gewöhnlich in großen Stücken vor und unterscheidet sich von dem runzligen ostindischen Copal durch seine glatte Oberfläche. Der von Calcutta ist sehr schön und hart, besteht aus weißen kaum gefärbten, flachen, großen Stücken, in denen die Eindrücke des Sandes bemerkbar sind, der von Bombay unterscheidet sich durch eine dunklere Farbe und warzige oder winklige Oberfläche. Beide scheinen von derselben Art, aber der letztere weniger rein und mit geringerer Sorgfalt geschält worden zu sein. Der Luft ausgesetzt absorbirt der Copal Sauerstoff und erleidet rasch eine Veränderung. Der dunklere Copal scheint sich schneller zu oxydiren. Beschleunigt wird die Veränderung sehr, wenn man das Harz mit Wasser zerreibt. Ein solcher Copal ist in der Kälte vollkommen in Alkohol und Aether löslich. Filhot schied aus dem ostindischen Copal fünf verschiedene Harze ab *), die sich aber doch von den durch Unverdorben im afrikanischen Copal gefundenen merklich unterscheiden. Der weiche oder falsche Copal ist in sehr geringer Menge dem ostindischen Copal beigemengt, kommt aber auch rein aus Brasilien. Er ist glasartig, vollkommen durchsichtig und krystallhell, wird aber mit der Zeit an der Oberfläche gelblich; er besitzt einen schwachen angenehmen Geruch, wird beim Erwärmen elastisch, weich und läßt sich in Fäden ziehen, eine Eigenschaft, die dem ostindischen nicht zukommt. In Aether beinahe vollständig löslich, in Alkohol jedoch nur theilweise. Es bleibt hier eine weiche kleberartige Masse zurück.

Dammarharz, Dammarputi, Katzenaugenharz **) kommt erst seit 1827 von Calcutta aus in den Handel und wird sehr geschätzt. Es kommt von Dammara alba Rumph. (Ostindien), von D. australis (Neu-Seeland). Es ist weißgelb, klar, in kleinen Stücken durchscheinend, auf der Oberfläche zuweilen mit einem weißen Pulver bedeckt, auf frischem Bruche glänzend. Das Harz besteht nach Dulk aus Dammarylsäure, Dammaryl (einem Kohlenwasserstoff, der wahrscheinlich durch Oxydation in warmer Luft sich zum natürlichen Harze umbildet), und Wasser. Da das Dammarharz in seinen physikalischen Eigenschaften der Typus einer Reihe von Harzen ist, dürften sich auch aus anderen ähnlichen Kohlenwasserstoffe darstellen lassen.

Andere Harze sind: Mastix von Pistacia lentiscus (besonders auf der Insel Chios angebaut); Sandarac von Thuja articulata (besonders am Atlas wachsend); Elemi von Amyris elemifera (Brasilien); Anime von Hymenaea Cour-

*) Journ. de Pharm. et de Chim. T. I. p. 306 u. 401.

**) Journ. für prakt. Chemie. Bd. XLV. S. 16. Poggend. Ann. Bd. LIX. S. 70.

baril (Brasilien, Antillen); **Benzoë** von Styrax Benzoin (Sumatra, Java, Siam); **Storax** von Styrax officinale (Syrien); **Ladanum** von Cistus creticus (Kandien und Syrien); **Pustoharz** wird von den Indianern gebraucht, um Holz damit zu überziehen und wasserdicht zu machen; **Takamahak**, von Fagara octandra (Mexico, Westindien); **Birkenharz** (Betulin, C^{40} H^{33} O^3) aus der Rinde *); **Harz aus dem Palmenwachs** von Ceroxylon Andicola auf den Cordilleren **); **Carannaharz** (von Carthagena, Abstammung unbekannt); **Alouchiharz** und **Arbolea Breaharz** vom Pechbaum — Canarium album Roeush., ein Terebinthacee — (von den Philippinen) ***) stimmen mit einander überein; **Icicaharz**; **Hasopin** ****); **Calophyllum** oder **Maynasharz** *****). Das **Anthiarharz** (C^{48} H^{37} O^3) macht nach **Mulder** †) den Hauptttheil des bekannten Pfeilgiftes Elpus Antiar von Antiaris Toxicaria aus, dessen sich die Bewohner des indischen Archipeles bedienen. Das Harz ist jedoch nicht giftig. Drachenblut von Calamus Rotang, Pterocarpus Draco und santalinus; die Harze des Kuhbaums ††). In der Rhabarberwurzel haben **Schloßberger** und **Doepping** zwei unkrystallisirte Harze aufgefunden. Das **Erythroretin** (Rothharz) und **Phäoretin** (Braunharz), die beide prachtvolle Färbungen bei der Berührung mit Alkalien zeigen und mit der Chrisophansäure in einem Zusammenhange zu stehen scheinen. Das **gelbe Harz von Neuholland**, **Botanybayharz** von Xanthorrhoea hastilis (Grasbaum), dem Gummi Gutt ähnlich, wird von den Einwohnern als Arzeneimittel gegen Diarrhöe gebraucht. Es kommt als gröbliches Pulver in den Handel und zeichnet sich nach **Stenhouse** †††) dadurch aus, daß es bei Einwirkung von Salpetersäure eine reichliche Menge Pikrinsalpetersäure bildet. Er erklärt es für eine der besten Quellen für diese Säure, da das Pfund nur 2 Schilling koste. Bei der trocknen Destillation liefert es ein leichtes Oel, welches wahrscheinlich aus Benzin und Cinnamène oder ähnlichen Producten besteht und ein schweres in reichlicher Menge, das den Geruch und Geschmack des Kreosots hat, durch Salpetersäure in Kohlenstickstoffsäure umgewandelt wird und mit Salzsäure die zuerst von **Runge** entdeckte bekannte violette Färbung zeigt; es ist also identisch mit dem Kreosot oder Phenyloxydhydrat. Derselbe Harzbaum liefert auch noch ein dunkelrothes, zerreibliches, glänzendes Harz, **schwarzes Bubengummi** genannt. — Das **Lactucon** (C^{40} H^{31} O^3) ist ein krystallisirbares Harz aus dem Lactucarium, dem Milchsaft von Lactuca virosa. Ob es das giftige Princip im Lattich ausmache, ist noch sehr zweifelhaft. In der Zusammensetzung steht ihm das Betulin sehr nahe. Eben so kommt auch das **Asclepion**, ein krystallisirbares Harz aus dem Milchsaft von Asclepias syriaca, in vielen Punkten damit überein.

---

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. VII. S. 54 u. Bd. XVI. S. 161. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LI. S. 64.

**) Journ. für prakt. Chem. Bd. V. S. 357.

***) Journ. de Pharm. et de Chim. (3 sér.) T. XX. p. 321.

****) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XLVI. S. 124.

*****) Ann. de Chim. et de Phys. T. X. p. 380.

†) Poggend. Ann. Bd. XLIV. S. 419.

††) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXXIII. p. 219. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXI. S. 43. Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 240.

†††) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LVII. S. 84.

In der Medizin werden noch gebraucht: das Guajacharz von Guajacum officinale (Westindien) und das Jalappenharz aus den Wurzeln verschiedener amerikanischer, besonders mexikanischer Windenarten. Das Pulver des ersteren oder die weingeistige Lösung wird an der Luft langsam zuerst grün, dann prachtvoll blau gefärbt. Andere oxydirende Agentien bewirken diese Veränderungen sehr schnell, auch viele organische Stoffe, namentlich die Proteïnverbindungen. Durch Erhitzen bis auf 100° verlieren aber die letzteren diese Eigenschaft. Die Farbenveränderung rührt her von dem Theil des Harzes, der sich in Ammoniak löst. Die Säure ($C^{12} H^8 O^6$), welche in diesem Harze vorkommt, nähert sich nach Thierry der Benzoësäure; sie ist löslich in Wasser und ohne Zersetzung flüchtig. Sobrero hat zwar die Zersetzungsproducte des Harzes untersucht, aber nicht ihre Beziehung zu demselben nachgewiesen. — Von den Jalappenwurzeln kommen zwei verschiedene Arten in den Handel, von Ipomaea Schiednera und I. orizabensis. Beide enthalten 10 Proc. Harz. Das der ersteren besteht zumeist aus Rhodeoretin ($C^{42} H^{35} O^{20}$) *), einem indifferenten Körper, der wohl nicht der wirksame Bestandtheil der Wurzel ist. Man kann ihn als eine gepaarte Zuckerverbindung ansehen; er gehört also nicht zu den Harzen. Der zweite Bestandtheil ist in Aether löslich (β Harz). Die Wurzeln von Ipomaea orizabensis liefern ein einfaches Harz, das 1 At. H und 2 At. O weniger enthält als das Rhodeoretin. Von concentrirter Schwefelsäure wird es in 5 bis 10 Minuten mit schön purpurrother Farbe gelöst und nach einiger Zeit scheidet sich ein braunes schmieriges Harz aus. Dies Verhalten soll so charakteristisch sein, daß es zur Probe auf seine Aechtheit benutzt werden kann.

Gummilack fließt in Ostindien aus den Zweigen verschiedener Bäume und Sträucher (Ficus-, Mimosenarten, Rhamnus jajuba, Croton bacciferum) auf den Stich des befruchteten Weibchens der Lackschildlaus (Coccus Laccae) aus. Sitzt er noch an den Zweigen, in dickeren oder dünneren Krusten von dunkelrother Farbe, so heißt er Stocklack. Ist er von den Zweigen abgenommen und der Farbestoff, behufs der Darstellung des Lac-dye durch Soda entfernt, so führt er den Namen Körnerlack und zerschmolzen und in dünne glatte Stücken geformt Schellack oder Tafellack. Die Farbe zeigt verschiedene Abstufungen, orange bis braunroth. Neben dem Harz, dem Hauptbestandtheil, sind noch Farbstoff und Wachs darin enthalten; durch Chlor wird der Farbstoff gebleicht. Man löst den Lack in Kalilauge auf, gießt die Lösung in eine concentrirte Chlorkalklösung und setzt zur Entfernung des Kalkes und wegen der völligen Entbindung des Chlors verdünnte Salzsäure hinzu. Bei dieser Reinigung gewinnt man das Wachs in neuerer Zeit, von dem bereits auch Proben nach Deutschland gekommen sind.

Einen interessanten Bericht über die Harze auf der Londoner Ausstellung von 1851 giebt Martius im Jahrbuch für praktische Pharmacie Bd. XXVII. S. 276. Namentlich die Sammlungen der ostindischen Harze, bis dahin meistens noch wenig in Europa bekannt, waren sehr zahlreich und interessant. Aus diesem Bericht erfahren wir auch, daß 1849 412,042 Centner Terpentin — davon beinahe die Hälfte aus den nordamerikanischen Freistaaten — und 14,786 Ctr. Schellack — fast ganz aus Ostindien — in England eingeführt worden sind.

---

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LI. S. 81.

Zu den **Schleimharzen** rechnet man **Gummi Gutti** — Cambogia gutta (auf Ceylon und der Küste von Malabar) liefert die schlechtere, Guttaefera vera (Stalagmites cambogioides) (auf Ceylon und in Siam) die besten Sorten. **Weihrauch** von Boswellia serrata (Ostindien); **Opoponax** von Pastinaca Opoponax (Orient, Sicilien, Italien, Provence); **Sagapenum** von Ferula persica (Aegypten); **Bdellium** aus der Levante; **Sarcocolla**. In der Medizin werden noch gebraucht: **Euphorbium**, der eingetrocknete Saft mehrerer Species Euphorbia im Innern von Afrika (Euphorbia officinalis, antiquorum und canariensis); **Scammonium**, von Convolvulus Scammonea (Aleppo) und Periploca Secamone (Smyrna); **Stinkasant**, **Teufelsdreck** aus der Wurzel von Ferula Asa foetida (Persien); **Ammoniak**, aus der Wurzel von Heracleum gummiferum im südlichen Aegypten; **Galbanum**, **Mutterharz** von Bubon galbanum (Afrika, besonders in Aethiopien) und **Myrrhe** von Balsamodendron Myrrha (Arabien und Abyssinien). — Die medizinischen Wirkungen der meisten Glieder dieser Gruppe sind in der Regel den darin enthaltenen Oelen zuzuschreiben. Man wendet sie namentlich bei gewissen Verstimmungen des Nervensystems an. Die knoblauchartig riechenden enthalten schwefelhaltige Oele. Ueber die Wirkungen der ganz reinen Harze auf den thierischen Organismus weiß man fast so gut **wie** nichts.

Unter den **fossilen Harzen** sind die wichtigsten: **Asphalt** (s. Bd. I. S. 363) und der **Bernstein** (s. Bd. I. S. 804). Als flüssiges Asphalt oder als eine Auflösung desselben in Steinöl haben wir den **Bergtheer** (Goudron minéral, Malthe, bitume glutineux) anzusehen, der sich in Frankreich an verschiedenen Orten in solcher Menge vorfindet, daß 1836 z. B. davon über 4100 Ctr. gesammelt werden konnten. Er kommt meistens mit Sand gemengt vor, von dem er durch Kochen mit Wasser getrennt wird. 36 Th. des bituminösen Sandes liefern 6 Th. rohen und 4 Th. gereinigten Theer. Dieser löst sich in fetten und ätherischen Oelen und läßt sich auch mit Harzen verbinden. Durch Destillation mit Wasser wird er in Asphalt und Petroleum zerlegt. — In Betreff des Bernsteins habe ich noch eine neuere verdienstvolle Arbeit von **Göppert** *) nachzutragen. In neuester Zeit hat demselben eine überaus reiche Sammlung (570 Exemplare) von Pflanzeneinschlüssen in Bernstein zu Gebote gestanden und aus den Resultaten dieser Untersuchung zieht er folgende Schlüsse. Die ganze Bernsteinflora besteht aus 24 Familien und 64 Gattungen, die 162 Arten enthalten, von denen 30 mit Bestimmtheit noch der Jetztwelt angehören. Die völlige Abwesenheit einer tropischen, ja selbst subtropischen Form spricht für das junge Alter der Bernsteinformation, die für die letzte Phase solcher Organisationsumwandlungen auf dem Erdboden angesehen wird. Die Formen erinnern an die heutige Flora der nördlichen Theile der vereinigten Staaten, ja sogar an die hochnordische überhaupt, denn einige unter ihnen umkreisen fast den Polarkreis oder gehören sogar den Alpen und den Ufern des Eismeeres in Sibirien und Kamtschatka allein nur an, während andere wieder auf den Anden des südlichen Theiles von Chili zu Hause sind. In der lebenden Flora jener hochnordischen Länder finden wir jedoch die Cypressineen und Abietineen nicht so zahlreich vertreten, wie in der Bernsteinflora. Der nördliche Theil der vereinigten Staaten zählt zwar wohl 13 Abietineen,

*) Ber. d. Berl. Akad. 1853. S. 449.

deren Analoga sich auch zum Theil in der Bernsteinflora vorfinden, jedoch nur 5 Cupressineen. Die Bernsteinflora enthält dagegen 31 Abietineen und 20 Cupressineen. Der bei weitem größte Theil ist also dort jetzt nicht vorhanden, am wenigsten so harzreiche Arten, wie die Bernsteinbäume, die in Hinsicht des Harzreichthums, nur mit der neuseeländischen Dammara australis sich vergleichen lassen, deren Zweige und Aeste von weißen Harztropfen so starren, daß sie wie mit Eiszapfen bedeckt erscheinen. Zwei der Cupressineen haben ihre Analoga nur in der gemäßigten Zone des südlichen Amerikas aufzuweisen. Wenn wir bedenken, welch unermeßliches Areal jene gesellig wachsenden Pflanzen heute noch in jenen nordischen Gegenden einnehmen (Abies alba und nigra erfüllen vorherrschend, vermischt mit der weniger häufigen Abies balsamea, den nordöstlichen Theil von Amerika, einen Raum von 50,000 Quadratmeilen, während Abies sibirica Ledeb., Larix davurica Turcy., L. sibirica Fischer, Abies ovata Lond., Pinus Cembra L. auf einem Raume von mindestens 200,000 Quadratmeilen die ungeheuren Wälder Sibiriens bilden), so können wir, da die Vegetationsverhältnisse und Gesetze von jeher dieselben waren, hieraus wohl mit Recht schließen, daß auch die Bernsteinflora auf einem viel ausgedehnteren Raume verbreitet war, als man gewöhnlich anzunehmen geneigt ist, ja sich vielleicht auf sämmtliche arctische Länder der Erde erstreckte. Dafür spricht schon ganz ungezwungen die große Ausdehnung des Vorkommens von Bernstein, und zwar unter gleichen Verhältnissen zerstreut, in den jüngeren Diluvialschichten Nordamerikas, wie von Holland, quer durch Deutschland, Rußland, Sibirien bis Kamtschatka hin. Durch welche Katastrophe freilich die Ostsee zu einem schon seit Jahrhunderten so ergiebigen Fundorte wurde, versucht Göppert nicht zu erörtern, erinnert aber an die enormen Quantitäten, die in Deutschland, Preußen und Posen nicht selten in der Erde angetroffen werden. Und ähnliche Fundgruben würden sich ohne Zweifel auch in östlicheren Ländern erschließen, wenn man nur darnach suchen wollte.

Unter den bituminösen Hölzern der preußischen Braunkohle findet sich kein Holz, in welchem der Bernstein im Innern in größerer oder geringerer Masse abgesondert vorkommt. Die in denselben enthaltenen Harzgefäße gehören sämmtlich zu den einfachen, in denen nicht gelbe Harzmassen, sondern dunkelbraune, mehr oder minder durchscheinende Harztropfen enthalten sind. Nirgends in Deutschland hat man auch irgendwo in der Braunkohlenformation selbst Bernstein gefunden, wohl aber in dem darüber liegenden Diluvium, was oft damit verwechselt wird. Der Grund und Boden, wo wir den Bernstein heute noch antreffen, ist vielleicht überall ein secundärer und nicht die Erzeugungsstätte desselben. Sie ist eben nur dem Diluvium zuzuzählen. Aus dem Vorkommen des Bernsteins in Schlesien läßt sich ermitteln, daß die Diluvialfluthen, welche die Gegenden von Holland bis zum Ural mit den nordischen Geschieben überschütteten und den Bernstein verschwemmten, bis auf 1350 Fuß Seehöhe an die schlesischen Gebirge hinauf reichten.

Nach dieser neuen Untersuchung stammt der Bernstein nicht von einer einzigen Art, die Göppert früher Pinus succinifer nannte, sondern zunächst auch noch von 8 anderen her, ja vielleicht lieferten, da der Bernstein wahrscheinlich nur ein, durch die Fossilisation verändertes Fichtenharz ist, alle in dem Bernsteinwalde vegetirenden Abietineen, vielleicht auch gar die Cupressineen hierzu ihr Contingent. Göppert hat es nämlich versucht auf nassem Wege, ähnlich wie die Braunkohle auch Bernstein zu bilden. Als er Harz von Pinus abies mit Zweigen dieses

Baumes 3 Monate lang mit Wasser bei 60 bis 80° digerirte, roch das Harz nicht mehr terpentinartig, sondern ganz verändert angenehm balsamisch, war aber noch in Weingeist auflöslich. Diese Fähigkeit verlor jedoch zum Theil wenigstens venetianischer Terpentin, der mit Zweigen von Lerchenbäumen ein Jahr hindurch auf ähnliche Weise behandelt worden war. Er näherte sich also dem Bernstein schon mehr. Es scheint, als wenn die anderweitigen organischen Bestandtheile des Holzes, vielleicht die Humussäuren, welche während der beginnenden Umbildung des Holzes in Braunkohlen entstehen, bei der Umwandlung des Harzes nicht ohne Einfluß seien, denn Fichtenharz für sich allein mit Wasser digerirt hatte sich, mit Ausnahme des Geruches, nach zwei Jahren durchaus nicht verändert. Mit Rücksicht auf diese Erfahrungen hat Göppert neue Versuche eingeleitet.

Die Kenntniß der übrigen fossilen Harze läßt noch Manches zu wünschen übrig und deshalb finden wir auch unter ihnen manche Substanzen aufgeführt, denen bei genauerer Untersuchung wohl eine andere Stelle angewiesen werden müßte.

Die Verwendung der Harze im praktischen Leben ist eine sehr mannichfaltige. Die Lackfirnisse und die Darstellung des Leuchtgases aus Harz sind bereits S. 205 und 441 besprochen worden. Das bei der letzteren abfallende Harzöl kann man zum Speisen der sogenannten Gaslampen gebrauchen oder auch wie die Oele aus Steinkohlen, die ein besonders schönes Licht geben, in Lampen mit Dochten verbrennen. Die Verbindungen der Harze mit Alkalien, die man Harzseifen nennt, obgleich sie nicht, wie die gewöhnlichen Seifen, in concentrirten Lösungen einen Seifenleim bilden und sich nicht aus der Auflösung durch Kochsalz abscheiden lassen, werden im Großen dargestellt. Sie dienen zum Leimen des Papiers in der Bütte. In England und Nordamerika setzt man den Seifen Harze zu, um sie billiger zu machen. Solche Seifen werden beim Bleichen der Leinewand und auch der Wohlfeilheit wegen, ungeachtet des Harzgeruches, als Reinigungsmittel allgemein gebraucht.

Ferner dienen die Harze zur Anfertigung des Siegellacks. Die feineren Sorten werden aus Schellack und Terpentin, die geringeren aus Fichtenharz und verschiedenen Farbstoffen angefertigt. Die Harze sind gleichfalls allgemein als Kitte (s. d. Art.) zu gebrauchen. Unter allen findet das Fichtenharz die allgemeinste Verwendung; außer zu den schon angeführten Zwecken bedient man sich seiner zum Kalfatern der Schiffe, in der Böttcherei zum Dichtmachen der Gefäße, in der Feuerwerkerei, beim Löthen und Verzinnen, zum Wasserdichtmachen grober Stoffe (z. B. des Segeltuches) ꝛc. Die wohlriechenden Harze werden zum Räuchern, so wie überhaupt in der Parfümerie vielfältig verwendet. Einige Harze haben noch besondere Verwendungen; so z. B. Sandarac zum Bestreuen des radirten Papieres, um es gegen das Durchschlagen der Tinte zu schützen; Mastix zum Zahnkitt ꝛc. — Böttcher macht darauf aufmerksam, daß man geschmolzenes Harz (8 Th. Colophonium und 1 Th. Leinöl) wie Seifenwasser zu großen hohlen Kugeln ausblasen könne *). Um die Blasen vor dem Zerplatzen zu schützen, bringt man sie auf einen schwach mit Lycopodium bestreuten Bogen Papier. Das Anfertigen dieser Harzblasen gewährt in der That einen ganz besonderen Reiz, ein Vergnügen, dem

*) Beiträge zur Physik und Chemie. Frankfurt a. M. bei Brönner. 1838.

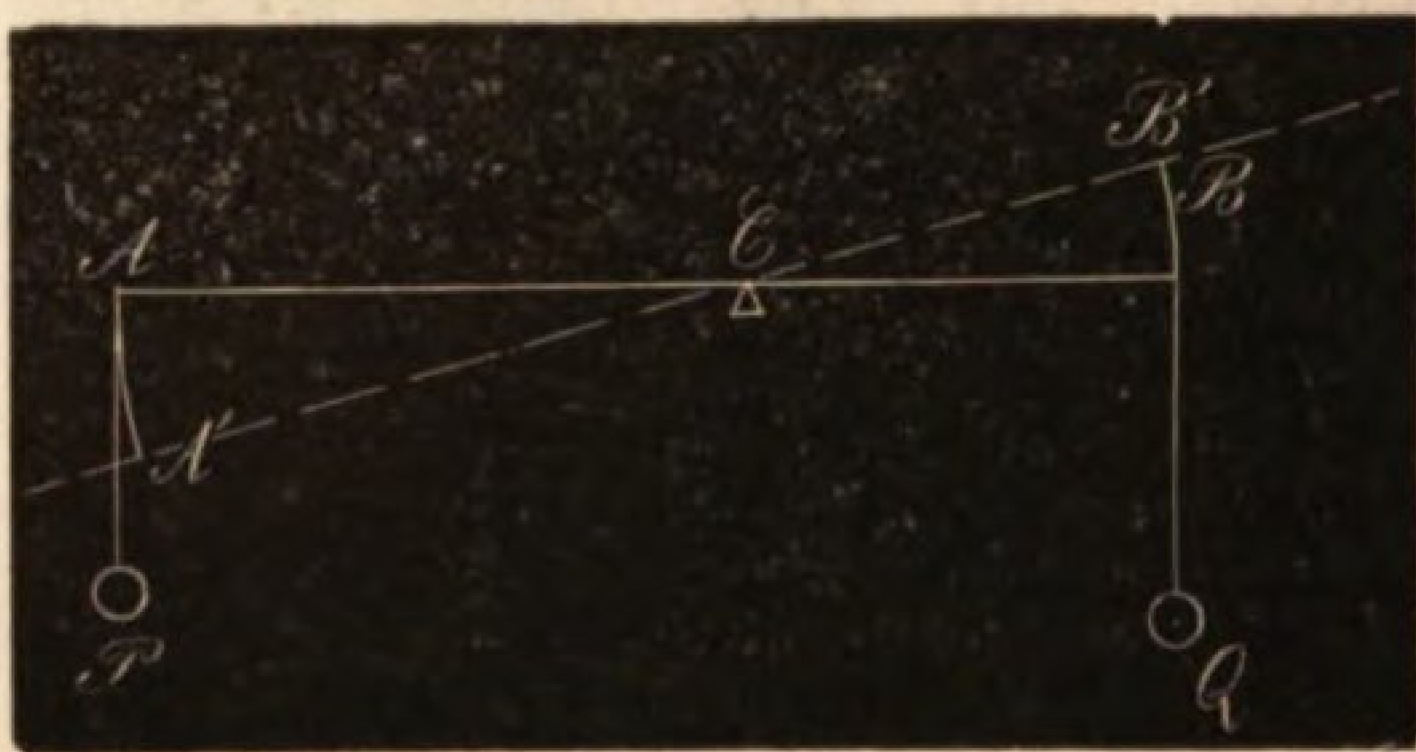
man gern ein Stündchen opfert. Am schönsten nehmen sich die Blasen aus, wenn man sie bei Sonnenschein von einer gewissen Höhe auf die Erde fallen läßt, wobei sie nie platzen, bevor sie die Erde erreicht haben. Sie lassen sich gleichfalls mittelst einer mit einem Hahn versehenen und mit Knallgas gefüllten Blase anfertigen und dann so zu sagen als Knallwürste lange Zeit aufbewahren, ohne daß man ein Entweichen des Gases durch die überaus dünnen und durchsichtigen Wände zu befürchten hätte. W. B.

Haspel, s. Rad an der Welle.

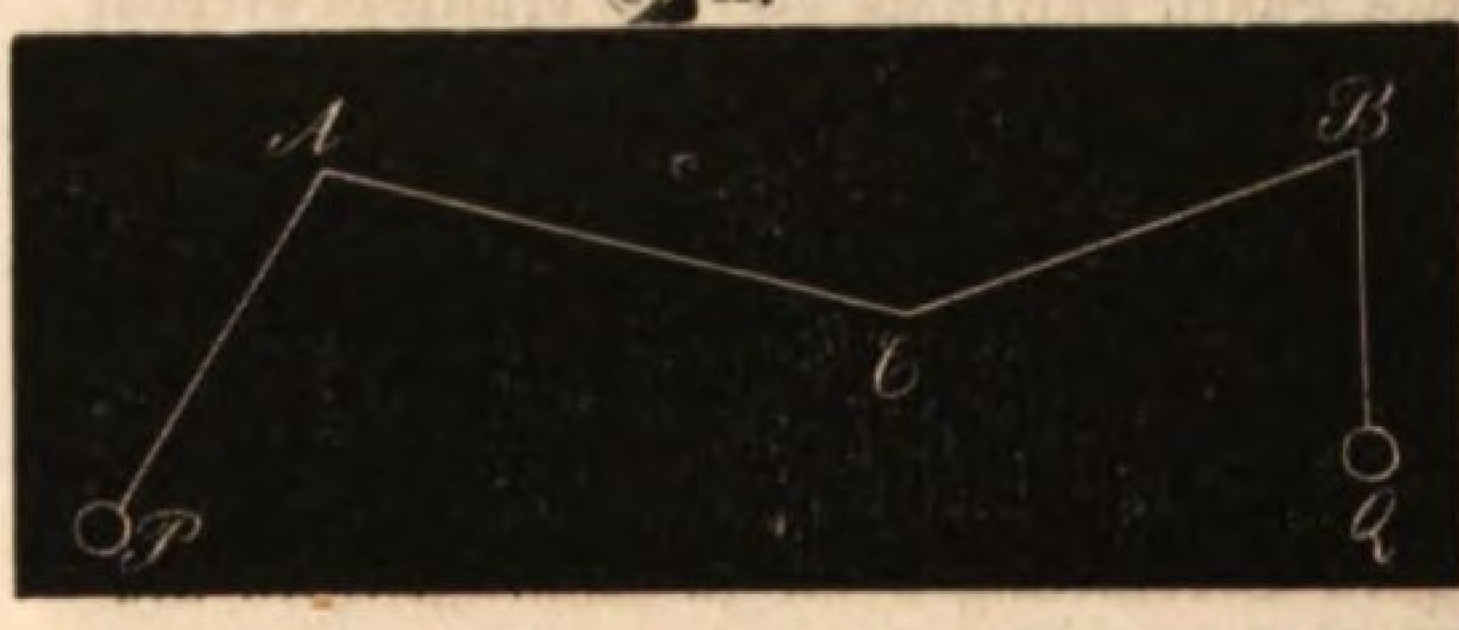
Hebel (vectis; levier; lever). Als einen Hebel kann man jeden festen Körper, oder überhaupt jedes feste System materieller Punkte betrachten, durch welches die Angriffspunkte zweier Kräfte auf unveränderliche Weise mit einander verbunden sind und das in einem dritten Punkte unterstützt oder um denselben drehbar ist. Die einfachste Art und Weise, wie die beiden Angriffspunkte der Kräfte mit einander verbunden werden können, so wie die einfachste Wahl des dritten oder Unterstützungspunktes bedingen daher die einfachste Einrichtung eines Hebels. Als solche erweist sich offenbar eine gerade feste Stange AB, welche durch die beiden Angriffspunkte A und B gelegt und in einem anderen ihrer Punkte C unterstützt, oder drehbar ist. Als eine der sogenannten einfachen Maschinen kommt nun der Hebel in den mannichfaltigsten Verbindungen an zusammengesetzten Maschinen vor und erhält daher nach Maßgabe des Zweckes, dem er, oder die ganze Maschine dient, so wie nach der Beschaffenheit des Materials, aus welchem er besteht, die verschiedenartigsten Abänderungen von dieser einfacheren Form. Es ist im Voraus zu erwarten, daß die Wirkungsweise des Hebels oder vielmehr der Kräfte an demselben durch diese verschiedenen Nebenumstände modificirt werden kann, und daß somit die Untersuchung dieser Wirkungsweise eine verwickeltere Aufgabe werden würde, wollte man alle Nebenverhältnisse zugleich und im Allgemeinen mit berücksichtigen. Es ergiebt sich hieraus von selbst die Nothwendigkeit, von der Art und Weise, wie in Wirklichkeit die Angriffspunkte der beiden Kräfte mit einander verbunden sind, ganz abzusehen und einfacher anzunehmen, daß zwischen den Angriffspunkten A und B und dem Unterstützungspunkte C die Verbindungen feste oder starre, unbiegsame und gewichtslose Linien AC und BC sind. Diese Voraussetzungen, welche in Wirklichkeit allerdings nie stattfinden, sind es, welche den sogenannten mathematischen Hebel charakterisiren. Von demselben wird der physische Hebel unterschieden, an welchem soweit als nöthig alle Nebenverhältnisse in Betracht zu ziehen sind, die durch seine Form, Materialität und seine sonstigen Verbindungen mit anderen Maschinentheilen bedingt werden.

Liegt der Unterstützungspunkt C mit den beiden Angriffspunkten A und B in einer geraden Linie AB (s. umstehende Fig. I.), so heißt der Hebel ein geradliniger, andernfalls ein Winkelhebel (Fig. II.); CA und CB sind die Arme des Hebels. Liegt dabei der Unterstützungspunkt C zwischen beiden Angriffspunkten (Fig. 1), so nennt man den Hebel einen doppelarmigen oder Hebel der ersten Art (vectis heterodromus; levier du premier genre; lever of the first kind); befindet sich dagegen einer der Angriffspunkte zwischen dem Unterstützungspunkte (C oder C' Fig. III. oder IV.) und dem anderen Angriffspunkte, so heißt der Hebel ein einarmiger, oder Hebel der zweiten Art (vectis homodromus); CA und CB oder C'A und C'B sind wieder seine Arme. Bisweilen

I.



II.



unterscheidet man am einarmigen Hebel noch die beiden Fälle, je nachdem der dem Stützpunkte nächste Angriffspunkt entweder derjenige der Last (Fig. III.), oder der der wirkenden Kraft (Fig. IV.) ist, und bezeichnet diesen Hebel als einen der dritten Art, während für jenen die Benennung Hebel der zweiten Art verbleibt. Die Unterscheidung letzterer beiden Arten wird indessen seltener beobachtet und hat theoretisch auch keine Bedeutung.

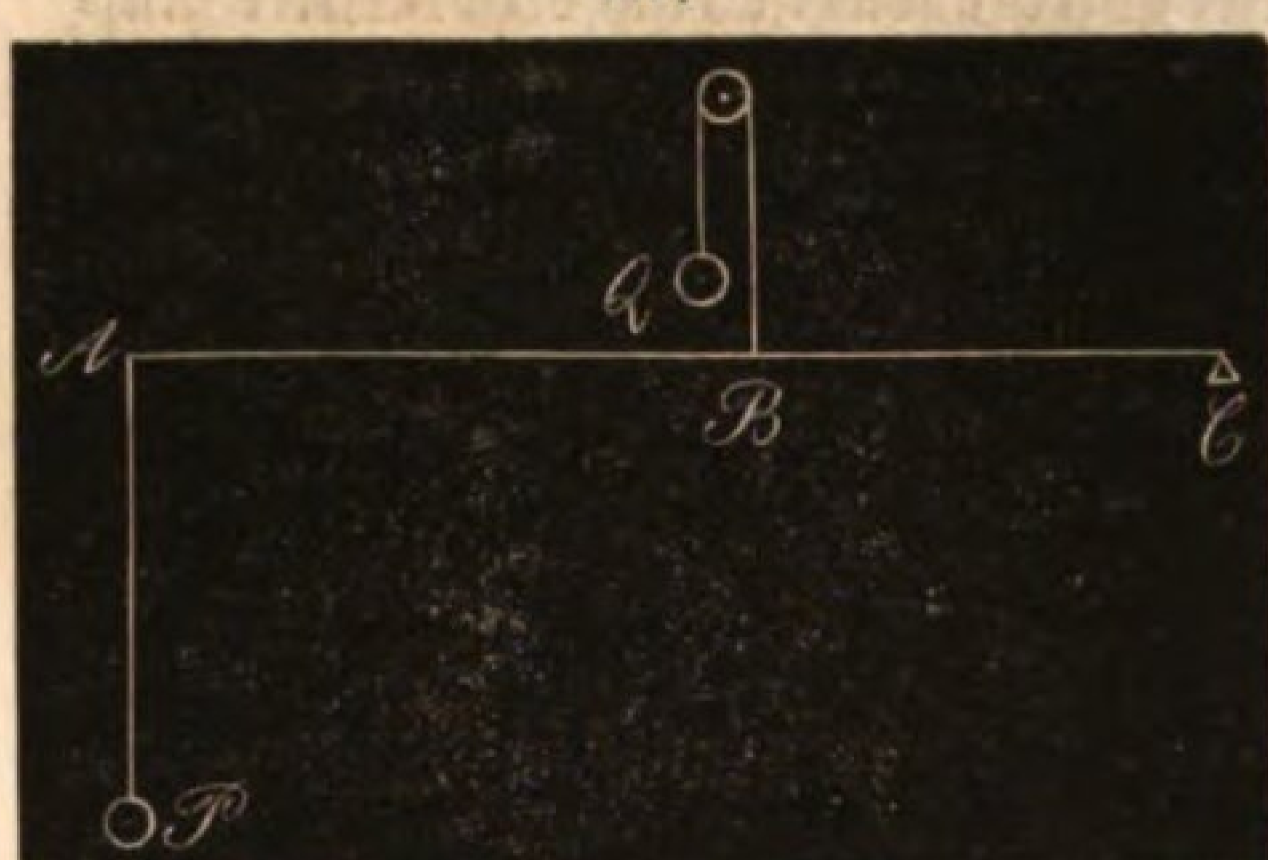
Bezüglich der Art und Weise, wie Kräfte am Hebel von der angegebenen einfachsten Construction wirken, nimmt man zuerst an, daß die Richtung AP, BQ (Fig. I. u. III.) der Kräfte P u. Q. senkrecht gegen die Verbindungslinie AB ihrer Angriffspunkte sei. Unter dieser Voraussetzung ist das Hauptgesetz für das Gleichgewicht der Kräfte am Hebel (mag er von der I., II. oder III. Art sein) folgendes: Am geradlinigen mathematischen Hebel stehen die senkrecht wirkenden Kräfte P und Q im Gleichgewicht, wenn sie sich umgekehrt wie die zugehörigen Hebelarme AC und BC verhalten, oder wenn die Producte aus den Längen der Hebelarme in die an denselben wirkenden Kräfte einander gleich sind, d. h. wenn

$$P : Q = BC : AC$$

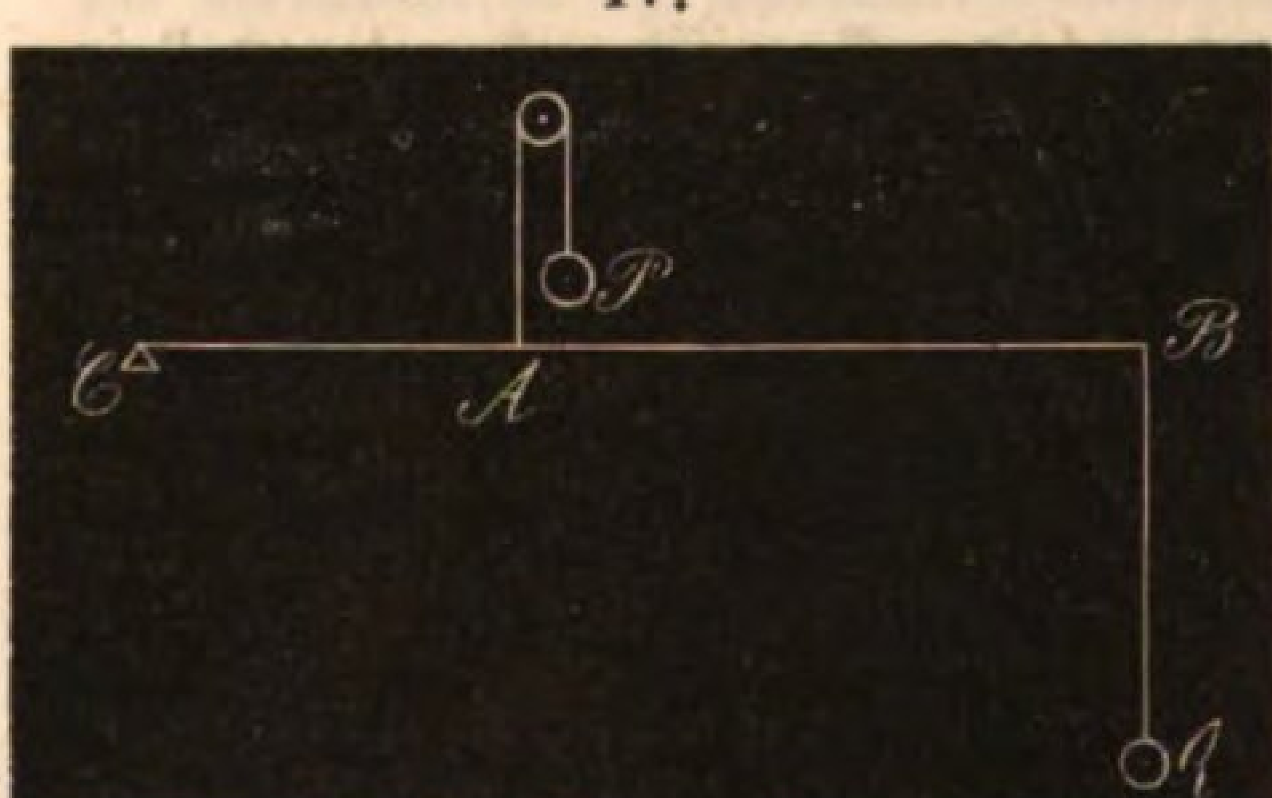
oder $P \times AC = Q \times BC$

ist. Die Richtigkeit dieses für die Statik und überhaupt für die Mechanik höchst wichtigen Fundamentalgesetzes ist auf verschiedene Weise bewiesen worden, je nachdem der eine oder andere Satz dabei vorausgesetzt oder benutzt worden ist. Man hat sich auch mehrfach bemüht diesen Satz unabhängig von allen anderen statischen Lehrsätzen zu be-

III.



IV.



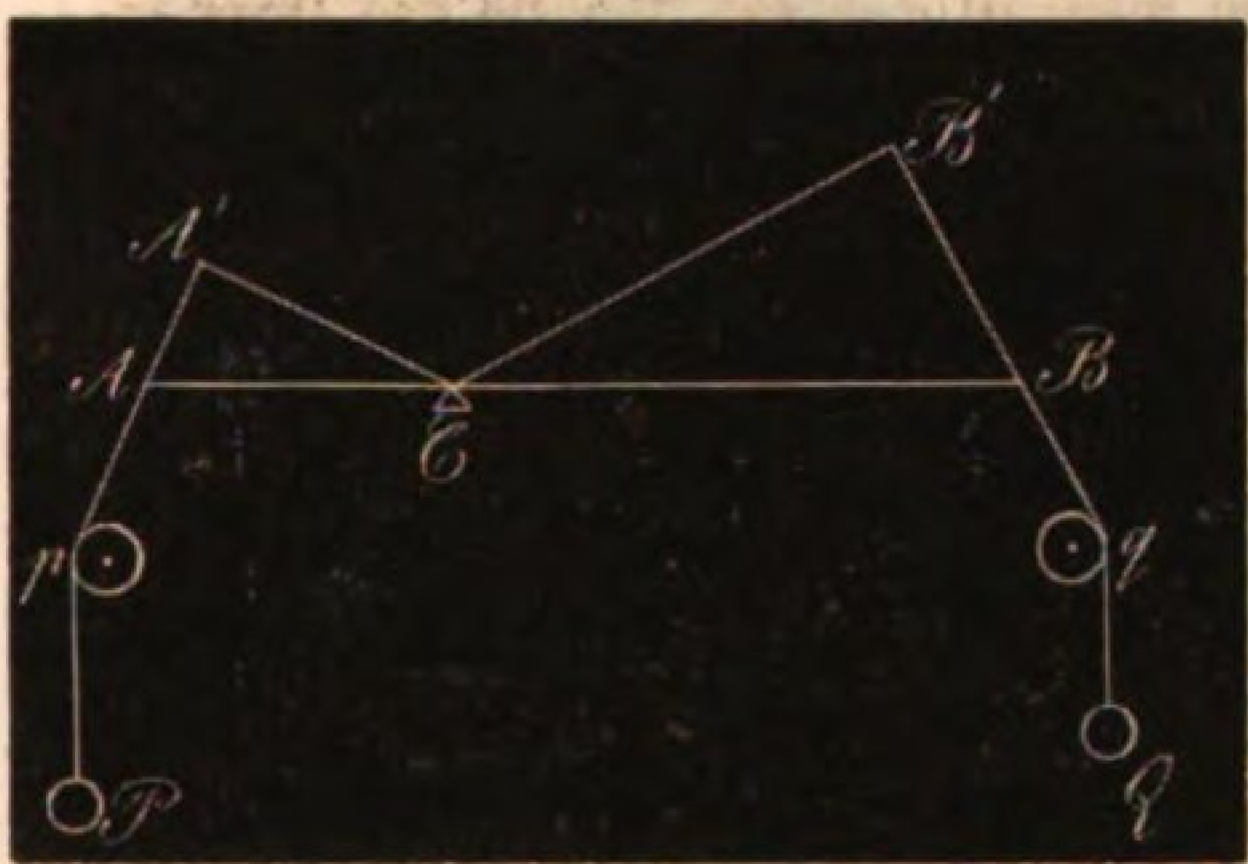
weisen und ihn als Ausgangspunkt für die gesammte Mechanik hinzustellen. Es ist hier nicht der Ort diese Beweise alle aufzuführen, oder wohl gar einer Kritik zu unterwerfen; ich verweise daher auf die Lehr- und Handbücher der reinen Mechanik *); nur so viel sei darüber noch hinzugefügt, daß diese Beweise entweder den Satz vom Parallelogramm der Kräfte als erwiesen voraussetzen (Newton, Varignon, Poisson, Eytelwein), oder unabhängig von demselben sind (Archimedes, De la Hire, Bernoulli, Maclaurin, Kästner).

Das Product der senkrecht auf den Hebel wirkenden Kraft in ihren Hebelarm, d. h. $P \times AC$ oder $Q \times BC$ nennt man das **statische Moment der Kraft**. Die Gleichgewichtsbedingung senkrecht am Hebel wirkender Kräfte besteht demnach in der **Gleichheit** der statischen Kraftmomente zu beiden Seiten des Unterstützungspunktes.

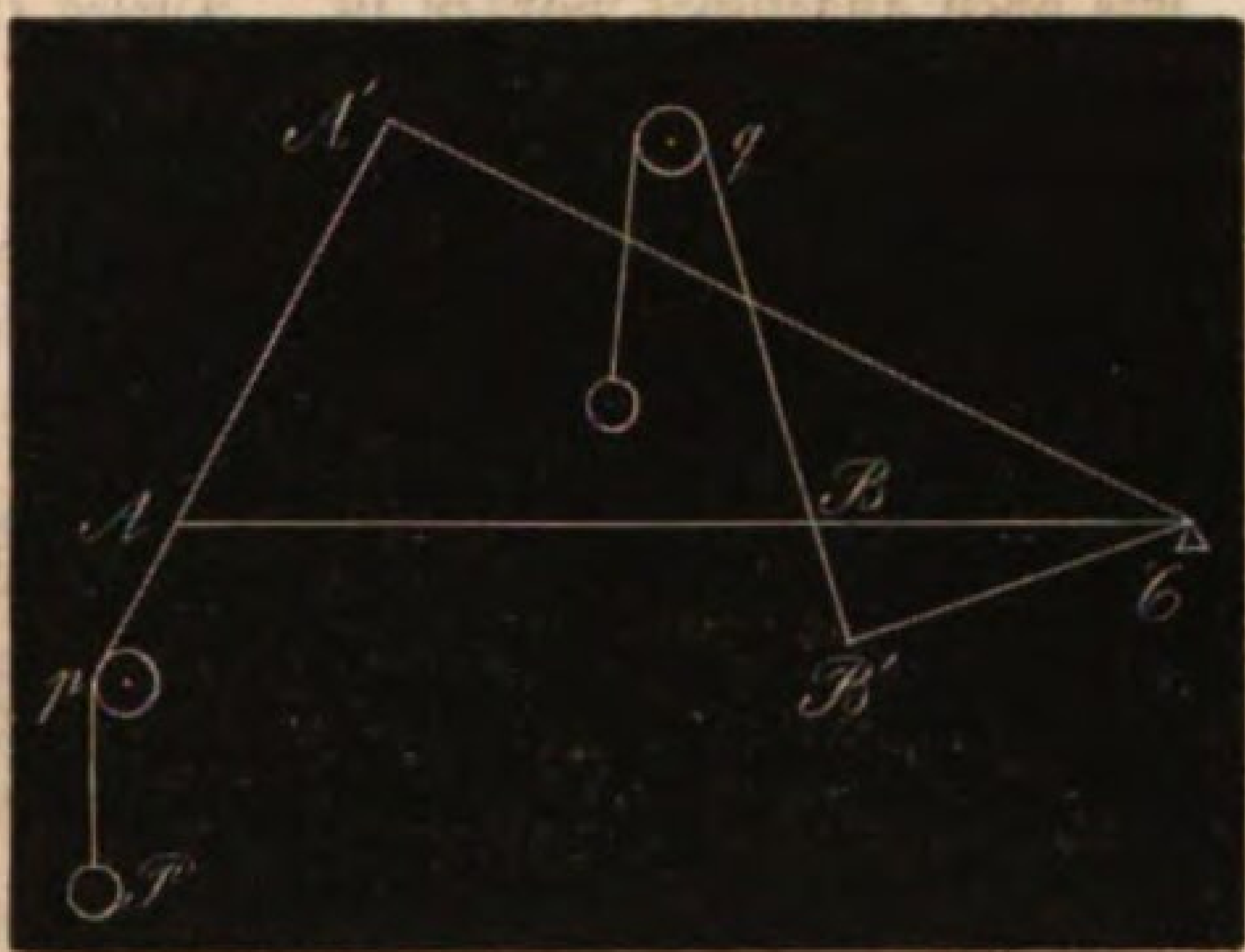
Das gleiche Gesetz gilt auch für den Winkelhebel, **wenn die Kräfte senkrecht gegen die Hebelarme wirken.**

Wirken aber die Kräfte P u. Q (Fig. I. oder II.) in **schiefen** Richtungen gegen die Hebelarme CA und CB, so fälle man vom Unterstützungspunkte C auf die Richtungen die Perpendikel CA′ u. CB′ und betrachte **diese** als die Arme

I.



II.



eines Winkelhebels. Das Gleichgewicht zwischen P u. Q findet dann statt, wenn wieder

$$P : Q = CB' : CA'$$

oder $P \times CA' = Q \times CB'$ ist.

*) Außer mehreren anderen erwähnenswerthen Schriften seien nur genannt: Archimedes de aequiponderantibus, übersetzt v. E. Nizze. Stralsund 1824; Cartesius, Tractatus de Mechan. in Opp. posth. Amstel. 1701; Newton, Princip. Ph. Lib. I.; Varignon, nouvelle mécanique ou statique. Par. 1725; Poisson, traité de mécanique analytique; Eytelwein, Handbuch der Statik fester Körper. 1808; Brandes, Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung fester und flüssiger Körper; Grunert, Statik fester Körper. Halle 1826; Möbius, Lehrbuch der Statik. Leipzig 1837; De la Hire, traité de mécanique. Par. 1695; Maclaurin, Account of S. Is. Newton Philosoph. Discoveries B. VII., Expositio Philosophiae Newtonianae ed. Falk. Vindob. 1761. Lib. II. Cap. III.; Bernoulli, Opp. T. IV. N. 177. §. V.; Kästner, Theoria vectis et compositionis virium evidentius exposita. Lips. 1753; Euler, mechanica s. motus scientia analyt. exposita. Petrop. 1736.

Bezeichnet man die Winkel, welche die Kräfterichtungen p A und q B mit den Hebelarmen bilden, respect. mit α und β, so ist $CA' = CA \sin \alpha$ und $CB' = CB \sin \beta$ und obige Gleichgewichtsbedingung geht über in

$$P \times CA \sin \alpha = Q \times CB \sin \beta$$

Die Producte $P \times CA'$, $Q \times CB'$ oder $P \times CA \sin \alpha$, $Q \times CB \sin \beta$ nennt man bei schiefwinklig wirkenden Kräften gleichfalls die statischen Momente. Nach dieser allgemeineren Bedeutung von Kraftmoment ist demnach die Gleichheit der statischen Momente der am Hebel in irgend welchen Richtungen wirkenden Kräfte die allgemeine Gleichgewichtsbedingung derselben.

Wird B (Fig. I. S. 708) nach B′ um den Punkt C bewegt, so geht A nach A′; denkt man sich nun Gleichgewicht am Hebel, so müssen beide Bewegungen als einander entgegengesetzt sich aufheben, und die an B u. A wirkenden Kräfte müssen so beschaffen sein, daß die Leistung einer jeden von der der anderen aufgehoben wird. Die Leistung einer Kraft ist aber das Product derselben in den Weg, welchen sie zurückgelegt hat, für unsern Fall also $P \times AA'$ und $Q \times BB'$. Für den Gleichgewichtszustand muß also sein $P \times AA' = Q \times BB'$, oder weil $AA' : BB' = AC : BC$ ist,

$$P \times AC = Q \times BC,$$

wie oben angeführt worden ist. Dieses ist im Wesentlichen der Beweis des Cartesius.

In der Gleichgewichtsbedingung an einem physischen Hebel muß nun die für den mathematischen mit enthalten sein; außerdem ist aber noch die Masse des ersteren in Betracht zu ziehen. Zu diesem Ende betrachtet man den physischen Hebel erst als einen mathematischen und berechnet für denselben die statischen Momente. Nennt man die Längen beider Hebelarme L u. L′, die daran senkrecht wirkenden Kräfte P u. P′, so sind L P u. L′P′ die Momente. Man bestimmt nun den Schwerpunkt jedes Hebelarmes so wie seine Entfernung l, l′ vom Unterstützungspunkte und multiplicirt dieselbe in das Gewicht G, G′ des betreffenden Hebelarmes, das man im Schwerpunkte vereinigt denkt. Jedes dieser Producte l G, l′G′ addirt man endlich zu dem zugehörigen Kraftmomente und es findet Gleichgewicht statt, wenn diese Summen einander gleich sind, oder wenn $LP + lG = L'P' + l'G'$ ist. Witzschel.

Heber, anatomischer, ist ein von Wolf*) erfundener Apparat, um die Gesetze des hydrostatischen Druckes der Flüssigkeiten zu bestätigen.

A B C D auf umstehender Fig. I. ist ein cylindrisches, blechernes, oben offenes Gefäß, dessen Rand C D nach außen umgebogen ist, um eine thierische Blase bequemer darüber spannen und befestigen zu können. Ueber dem Boden AB erhebt sich seitwärts eine mehrere Fuß hohe Röhre E F, welche bei F mit einem Trichter versehen sein kann. Gießt man bei F Wasser in die Röhre FE und das Gefäß A B C D, so übt dies auf die Luft im Gefäße einen Druck aus, durch welchen die Blase aufgetrieben wird.

Durch den bedeutenden Druck, welcher in diesem Falle entwickelt wird, werden alle Häute und Gefäße der Blase so aus einander getrieben, daß man ihre

*) Elementa Mathes. Hydrost. Cap. II. §. 52.

Structur sehr leicht wahrnehmen kann. Wolf nannte deshalb diesen Apparat, welcher kein Heber im gewöhnlichen Sinne ist, einen anatomischen Heber.

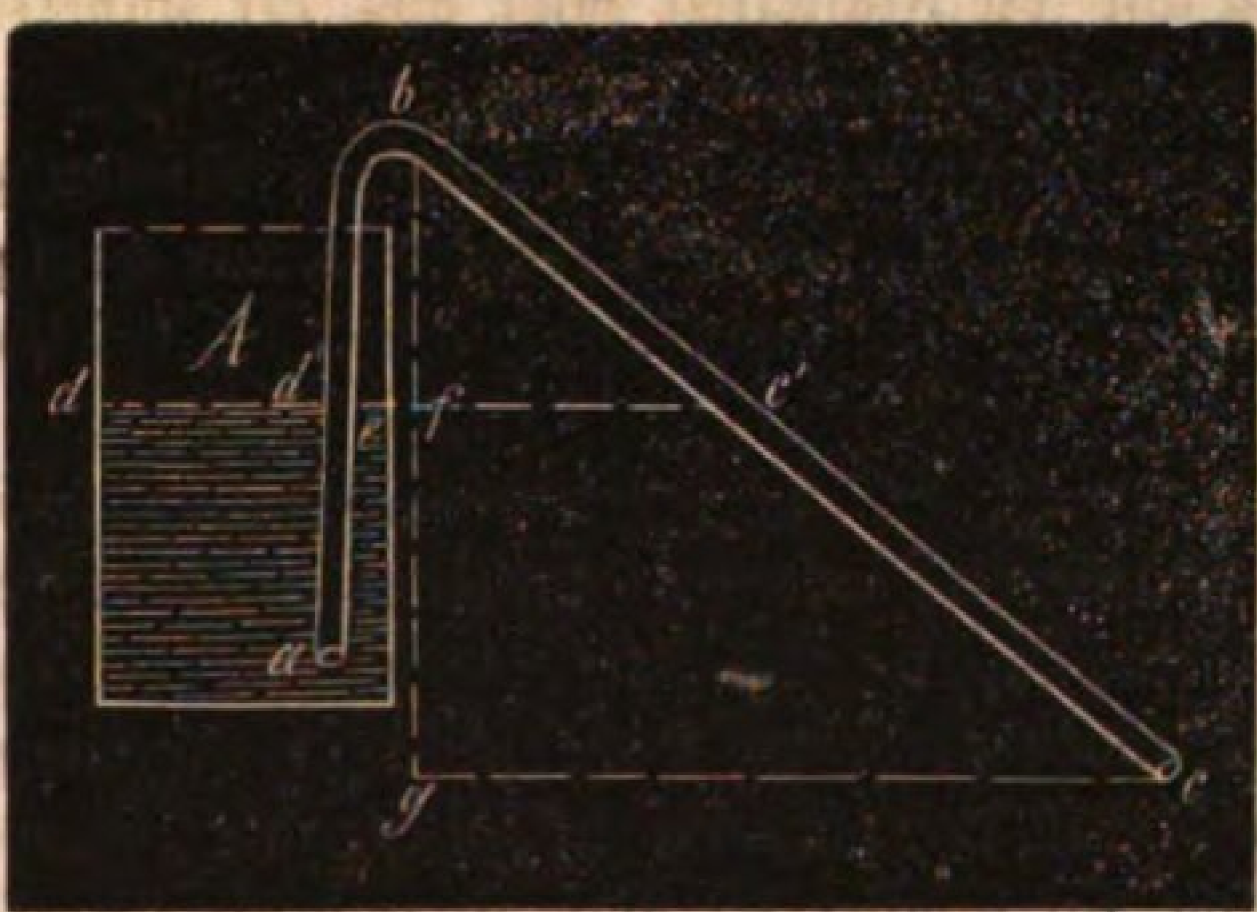
I.



Die Größe des erzeugten Druckes lehrt folgende Betrachtung. Gesetzt das Gefäß ABCD habe die Größe ABHG, so würde, nachdem der ganze Apparat mit Wasser gefüllt wäre, die Wassersäule EF in der engeren Röhre einer Wassersäule ABHG in der weiteren das Gleichgewicht halten, oder eine solche Wassermasse tragen. Auf der Schicht CD lastet demnach eigentlich das Gewicht der Wassermasse in CDGH, und da Druck und Gegendruck gleich sein muß, so wird die Blase, weil der Gegendruck wegfällt, welchen die Wassermasse in CDGH von oben nach unten ausgeübt haben würde, durch den eben so starken, nun einseitigen Druck von unten nach oben aufgetrieben. Da ein preußischer Cubikfuß Wasser 66 Pfund wiegt, so würde, wenn der Querschnitt des Gefäßes bei CD einen Quadratfuß betrüge, bereits ein Druck von 330 Pfd. oder 3 Centnern auf die Blase ausgeübt werden, falls die Flüssigkeit im engen Rohre EF nur 5 Fuß hoch über CD stände. H. E.

Heber, gekrümmter, (lat. Sipho; franz. Siphon; engl. Siphon or Syphon) heißt eine unter einem beliebigen Winkel an einer Stelle umgebogene gläserne oder metallene an beiden Enden offene Röhre. Jeder Theil der Röhre, von der Biegung an gerechnet, heißt ein Schenkel des Hebers; es sind dies also in nebenstehender Figur ab und bc.

II.



Denken wir uns den Heber abc mit dem einen Schenkel ab in ein mit Flüssigkeit, z. B. Wasser, gefülltes Gefäß A gesenkt und auf irgend eine Weise, z. B. durch Saugen bei c, mit derselben Flüssigkeit gefüllt; so wird die Flüssigkeit im Heber entweder stehen bleiben, oder in das Gefäß zurück fließen, oder aus der Mündung, also bei c, herausfließen. Welcher von diesen drei Fällen eintritt, hängt von der Lage der Oeffnung c in Bezug zu der Oberfläche de der Flüssigkeit im Gefäße A ab, und zwar tritt der erste Fall ein, wenn beide in derselben Horizontalen liegen; der zweite, wenn die Oeffnung des äußeren Schenkels höher, und der dritte, wenn dieselbe tiefer liegt, als die Flüssigkeitsoberfläche im Gefäße.

Die Ursache dieser Erscheinungen haben wir zu suchen in dem Verhältnisse des auf die Oberfläche de und auf die Mündung c wirkenden Luftdruckes und des diesem entgegenwirkenden hydrostatischen Druckes der die Heberschenkel erfüllenden Flüssigkeitssäulen d'b und bc.

Es sei der Heber, um von einer ganz bestimmten Flüssigkeit auszugehen, mit Wasser gefüllt, so sucht der auf c wirkende Luftdruck das Wasser in dem Heber in der Richtung c b a hin zu bewegen, und ein gleiches Bestreben äußert der Luftdruck auf der Oberfläche, jedoch in der entgegengesetzten Richtung a b c. Verlängern wir nun die durch die Oberfläche d e gehende Horizontale bis zu dem äußeren Schenkel, bis c′, legen durch die Mündung des äußeren Schenkels, also durch c, ebenfalls eine Horizontale c g und fällen von der Biegung b eine Verticale b f g, so setzen die beiden Wassersäulen b d′ und b c′ der Luft einen gleichen Druck entgegen, da sie eine gleiche Höhe haben, nämlich b f, der hydrostatische Druck aber von dieser abhängig ist. Da nun der leere Heber in die Flüssigkeit getaucht sich von selbst bis d′ füllen würde, und bei c′ und d′ ein gleich starker Luftdruck stattfindet, so wird die Differenz zwischen dem Luftdrucke bei c′ und dem hydrostatischen Drucke von b c′ eben so groß sein, als die Differenz zwischen dem Luftdrucke bei d′ und dem hydrostatischen Drucke von b d′; es werden sich also die nach der Richtung c′b d′ und d′b c′ drückenden Kräfte das Gleichgewicht halten, d. h. die Flüssigkeit muß in dem Heber ruhig stehen bleiben, sobald die äußere Mündung bei c′, d. h. mit der Oberfläche im Gefäße in derselben Horizontalen liegt.

Liegt, wie im zweiten Falle angenommen ist, die äußere Mündung oberhalb c′, so ist der hydrostatische Druck von b d′ größer als der von der Flüssigkeitssäule im äußeren Schenkel, da ihre Höhe kleiner als b f ist. Die vorher angegebene Differenz ist mithin auf Seite des äußeren Schenkels die größere, es wirkt daher in der Richtung c b a ein stärkerer Druck als in der entgegengesetzten a b c, und die Flüssigkeit wird deshalb in das Gefäß zurückgedrängt.

Ist endlich die Höhe der äußeren Flüssigkeitssäule größer als b f, d. h. liegt die Mündung des äußeren Schenkels tiefer als die Oberfläche im Gefäße, so überwiegt der Druck von innen nach außen und die Flüssigkeit muß aus der äußeren Mündung des Hebers ausfließen, wie es im dritten Falle lautet.

In den beiden letzten Fällen ist zwar der Luftdruck an der äußeren Mündung von dem auf der Oberfläche im Gefäße verschieden, jedoch beträgt dies nur wenig, da der Höhenunterschied unbedeutend ist, so daß man wohl befugt sein darf, Gleichheit des Druckes anzunehmen.

Ein wesentlicher Punkt bei dem Heber ist die Lage der Heberbeugung über der Oberfläche der Flüssigkeit. Die Flüssigkeitssäule b d′ im inneren Schenkel wird gehalten und gehoben von dem Luftdrucke, folglich darf die verticale Erhebung b f der Beugung über die Flüssigkeitsoberfläche die Höhe nicht überschreiten, bis zu welcher die Flüssigkeit durch den Druck der Luft im leeren Raume emporgehoben werden kann, eine Höhe, welche für Wasser 32 Par. F. und für Quecksilber 28 Zoll beträgt und überhaupt von dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit abhängig ist *). Erreicht die Erhebung der Beugung noch nicht die Druckhöhe der Luft und erfolgt, wie im zweiten und dritten der oben aufgestellten Fälle, Bewegung der Flüssigkeit im Heber; so muß die Flüssigkeit des einen Schenkels der im anderen ausfließenden folgen, weil sonst bei der Beugung ein luftleerer Raum entstehen würde, der Luftdruck diesen aber fortwährend ausfüllt, indem er die Flüssigkeit im nachfolgenden Schenkel empor drückt.

---

*) Vergl. Art. Barometer. Bd. I. S. 655 und Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 465.

Man kann also die Flüssigkeit nur über eine Höhe hinweg heben, welche die Druckhöhe für diese Flüssigkeit noch nicht erreicht. Durch einen Heber eine Flüssigkeit nach einem höher gelegenen Orte zu schaffen, ist unmöglich, da, wenn die Flüssigkeit nicht in das Gefäß zurückfließen soll, die äußere Mündung des Hebers unter dem Niveau der Flüssigkeit im Gefäße liegen muß.

Daß der Druck der Luft der Grund der Erscheinungen am Heber sei, geht aus einem von Parrot *) angegebenen Experimente hervor. Verschließt man das Gefäß A (Fig. I.) luftdicht mit einem Deckel, so daß nur die Oeffnung e der Luft den Zugang in das Gefäß gestattet, so wird der Heber a c b fließen, so lange e geöffnet bleibt. Verschließt man jedoch e luftdicht mit einem Korke, so tritt alsbald eine Verdünnung der Luft im Gefäße A oberhalb des Wassers ein, und diese hat zur Folge, daß die äußere atmosphärische Luft,

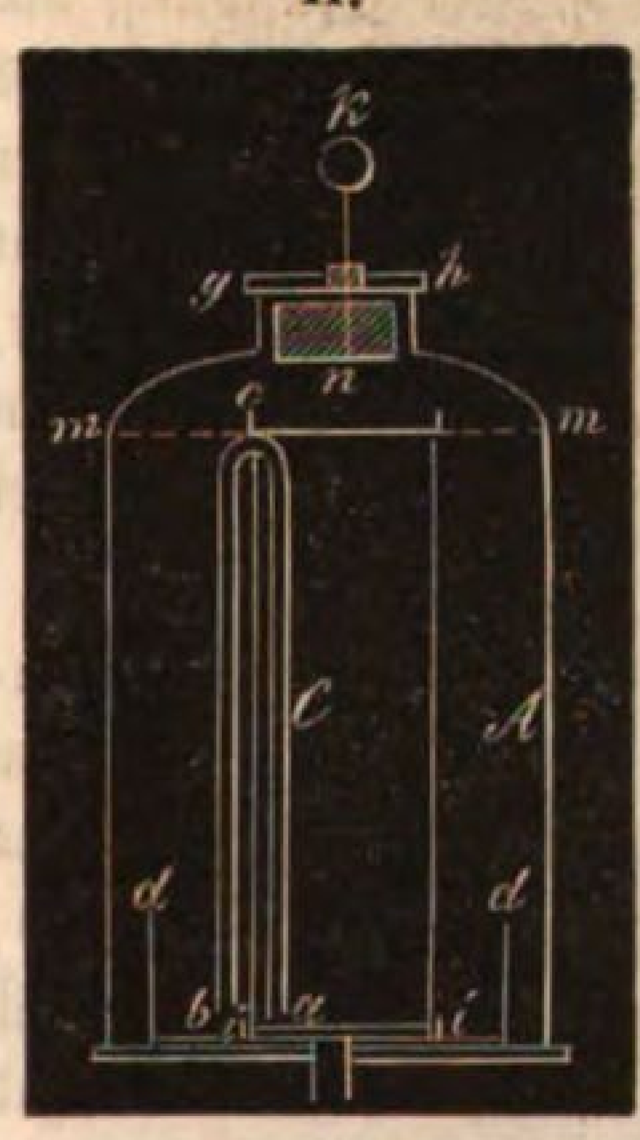
I.



da der Gegendruck im Gefäße vermindert ist, die ganze Wassersäule b c zu tragen im Stande ist. Oder, — nach unserer obigen Darstellung —, es wird zwar anfangs die Differenz aus dem Luftdrucke über m m und dem hydrostatischen Drucke der Säule c m größer sein, als die aus dem Luftdrucke bei b und der Säule b c; da aber die Differenz auf der Außenseite ungeändert bleibt, die auf der Innenseite sich jedoch verkleinert wegen der Abnahme des Luftdruckes und zugleich der Höhenzunahme von c m, so wird endlich Gleichheit der beiden Differenzen eintreten und der Heber zu laufen aufhören. Der Heber bleibt also still stehen, nachdem e verschlossen worden, und wenn man abwechselnd e öffnet und schließt, so fließt und steht auch abwechselnd der Heber.

Im luftleeren Raume muß der Heber natürlich zu fließen aufhören; es ist jedoch schwierig mittelst der Luftpumpe durch den Versuch dies nachzuweisen; denn da man hier nur Heber von geringer Länge anwenden kann, eine vollständige Ausleerung der Luft mittelst der Luftpumpe auch nicht möglich ist, sondern nur eine Verdünnung derselben, so wird auch ein merklich verringerter Luftdruck noch hinreichen den Heber in Thätigkeit zu erhalten. Man kann indessen den Versuch nach Muncke **) auf folgende Weise anstellen:

II.



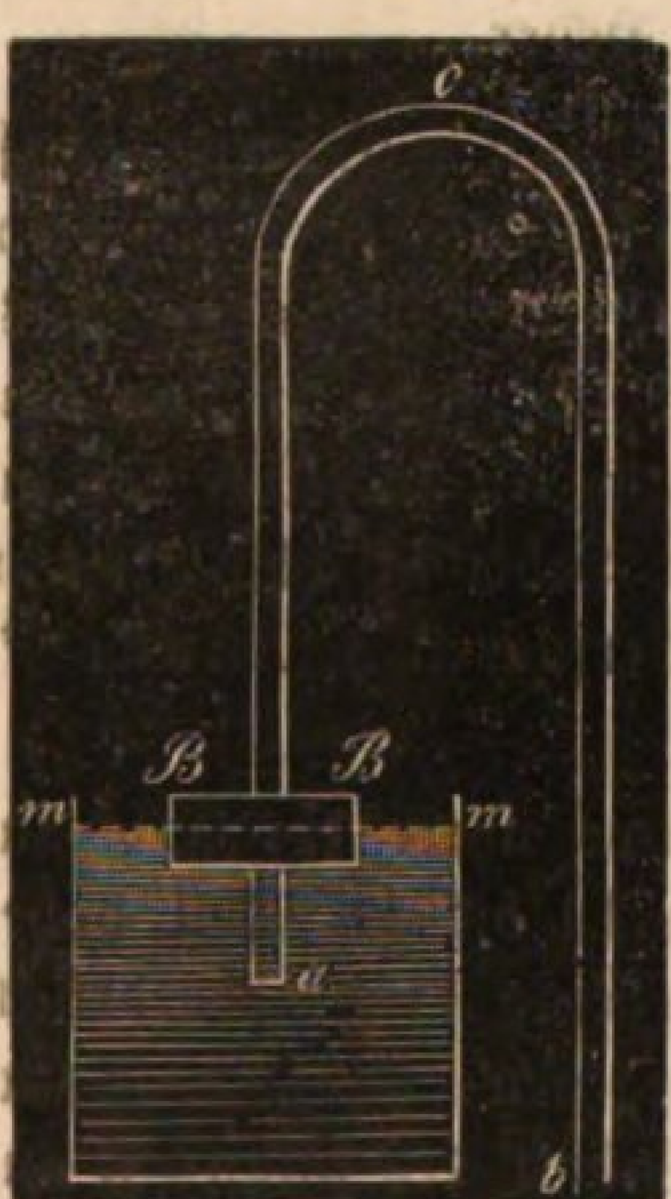
Auf dem Teller der Luftpumpe unter der Campane A (Fig. II.) befindet sich ein etwa 14 bis 16 Zoll hohes Cylinderglas in den messingenen Ring i i hinabgedrückt, welcher auf dem Boden des messingenen cylindrischen Gefäßes d d festgelöthet ist. Der Inhalt des Glases C und des Gefäßes d d müssen einander mit einem kleinen Ueberschusse des letzteren gleich sein, damit das Wasser nicht über den Rand des Gefäßes steige. Das Glas hat oben eine metallene Fassung von etwa 1 Zoll Höhe, durch welche der gläserne Heber a c b gesteckt und in der Oeffnung dann verkittet ist. Der so vorgerichtete Apparat wird auf den

*) Grundriß der theoretischen Physik. Bd. I. S. 373.
**) Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 133.

Teller der Luftpumpe gestellt, das Glas C mit Wasser gefüllt, die Campane darüber gestürzt, mit dem Deckel g h oben geschlossen, durch welchen in einer Lederbüchse ein Draht k herabgeht, um einen Kork oder ein Stück Holz n zu tragen. Ist dann das erforderliche Vacuum hergestellt, so drückt man den Kork n in das Wasser des Glases hinab, der Heber läuft über und fängt an zu fließen, bis er still steht, wenn das Niveau m m so weit gesunken ist, daß die Wassersäule in dem inneren Schenkel von c abwärts eine größere Höhe erreicht hat, als welche dem Drucke der unter der Campane noch befindlichen Luft zugehört. Läßt man eine geringe Quantität Luft unter die Campane, so fängt er abermals an zu fließen, bis er wieder still steht, und beide Schenkel bilden zwei in ein gemeinschaftliches Vacuum übergehende ganz eigentliche abgekürzte Wasserbarometer, in welcher Hinsicht diese Construction vorzüglich belehrend ist.

Gewöhnlich ist der ausfließende, äußere Schenkel des Hebers länger, als der andere; nach der Theorie braucht dies jedoch nicht der Fall zu sein, nur ist es praktischer, da man alsdann um so leichter der äußeren Mündung eine möglichst tiefe Lage geben kann.

Die Ausflußgeschwindigkeit wird um so größer sein, je größer die Höhendifferenz der äußeren Mündung und des Niveaus im Inneren ist, da dann der Druck von innen nach außen um so mehr überwiegt. Mit sinkendem Niveau muß folglich die Ausflußgeschwindigkeit abnehmen. Um eine gleich bleibende Ausflußgeschwindigkeit zu erlangen, kann man auf der Oberfläche m m den hohlen Kranz B B schwimmen lassen, durch eine Oeffnung in demselben den einen Schenkel a des Hebers stecken, während der andere Schenkel über den Rand des Gefäßes hinausgeht. Der Kranz B B, welcher solchergestalt auf der Flüssigkeit schwimmt, geht nun mit dem Niveau derselben herab, der Heber bleibt fortwährend gleich tief in die Flüssigkeit eingesenkt, und die Geschwindigkeit des Abfließens bleibt unverändert.



Reicht bei einem Heber die innere Mündung bis zu dem Boden des Gefäßes und die äußere noch bis unter denselben, so kann das Gefäß durch den Heber völlig entleert werden. Geht die innere Mündung nicht so weit herab, so erfolgt die Entleerung nur so weit, als diese Mündung reicht, wobei alsdann alle in dem Heber befindliche Flüssigkeit durch den äußeren Schenkel ausfließt.

Die Füllung des Hebers geschieht bei sonst unschädlichen Flüssigkeiten gewöhnlich durch Saugen. Um dies Saugen bequem ausführen zu können, oder um zu verhindern, daß dabei von der Flüssigkeit etwas in den Mund gelangt, bedient man sich des sogenannten doppelten Hebers, (s. umstehende Fig. I.) wo d b eine Röhre ist, welche nur dazu bestimmt ist, durch Saugen an d den Heber a c b in Thätigkeit zu setzen. Man saugt bei d, während man mit dem Finger oder durch einen besonders angebrachten Hahn die Mündung b verschließt, bis c b von Flüssigkeit erfüllt ist. Wird nach erfolgter Füllung die Mündung b geöffnet, so beginnt die Wirkung des Hebers. Bringt man unter-

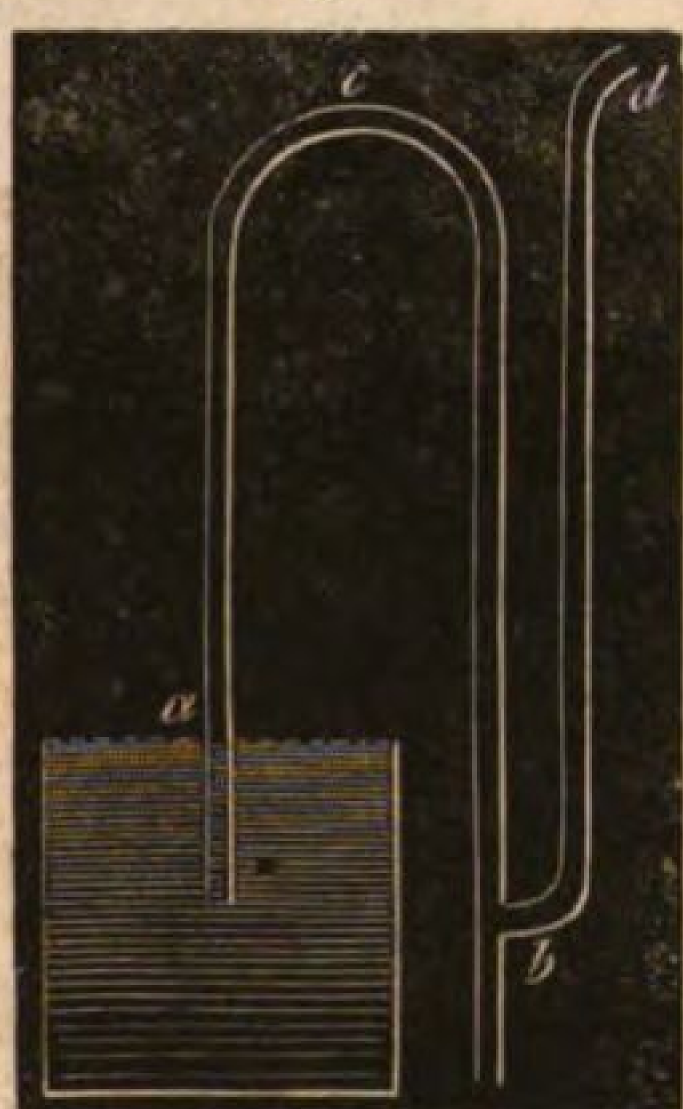
halb d eine Glaskugel an, so bemerkt man das Steigen der Flüssigkeit in b d, und kann mit dem Saugen aufhören, ehe dieselbe bis zum Munde gelangt.

Eine Abänderung dieses Hebers trägt bei d einen Trichter, in welchem Falle, anstatt zu saugen, so viel Flüssigkeit durch den Trichter eingefüllt wird, bis sich der Heber gefüllt hat.

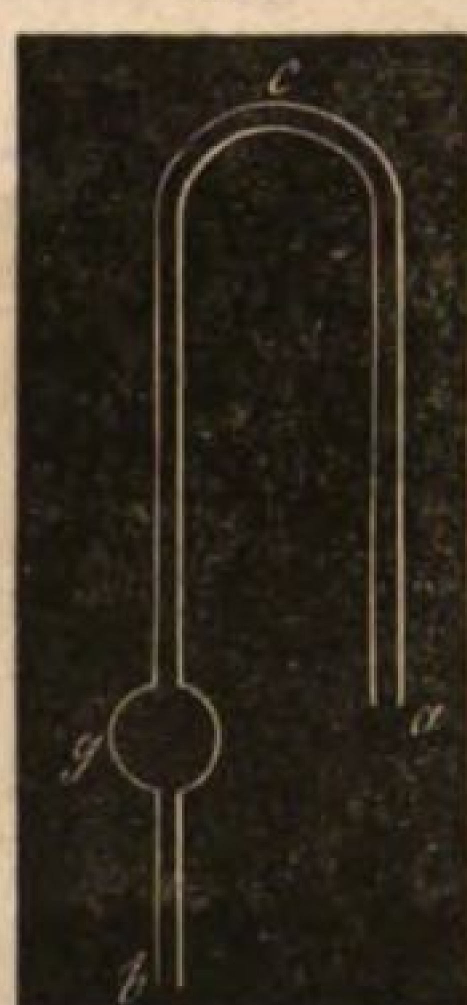
Das Saugen kann man auch dadurch umgehen, daß man ihn mit der Beugung abwärts so hält, daß die beiden Mündungen in einer Horizontalen liegen. In dieser Lage füllt man ihn mit der Flüssigkeit an, verschließt hierauf die nach außen kommende Mündung mit dem Finger, kehrt den Heber um und bringt den inneren Schenkel in das Gefäß. Der Heber fängt sofort an zu fließen, wenn der Finger von der äußeren Mündung weggezogen wird. Bei Hebern mit etwas weitem Durchmesser bringt man zweckmäßig in der Mündung des inneren Schenkels eine sich nach innen öffnende Klappe an, um durch deren Verschluß eine Theilung der Flüssigkeitssäule in dem sonst offenen Schenkel beim Umkehren des Hebers zu verhindern.

Von den mannichfachen Methoden, die Füllung des Hebers zu bewerkstelligen, verdienen folgende eine Erwähnung. Bunten *) schlägt vor, den längeren Schenkel an einer Stelle nicht weit unter der Biegung zu einer Kugel aufzublasen (s. Fig. II.), diese und einen Theil des Schenkels mit Flüssigkeit zu füllen, den Heber umzukehren und den kürzeren Schenkel in das erfüllte Gefäß zu senken. Die herabfließende größere Menge der Flüssigkeit in der Kugel wird den längeren Heberarm füllen und das Fließen bewirken, während sie selbst sich ohne Nachtheil mit

I.



II.



III.



Luft füllt. — Von Hempel **) ist folgender Vorschlag. Der kürzere Schenkel a (s. Fig. III.) wird in die gekrümmte Röhre g gesteckt und dann in die Flüssigkeit herabgesenkt. Hierauf gießt man Flüssigkeit in den Trichter d, bis sich auch der längere Schenkel gefüllt hat, zieht dann das Ende a des kürzeren Schenkels aus

*) Journ. de Pharmac. 1824. Avril. p. 189; Edinb. Journ. of Science. No. 11. p. 343. Gehler's Wörterb. N. B. Bd. V. S. 125.

**) Journ. de Pharmac. 1824. Avril. p. 189; Edinb. Journ. of Science. No. 11. p. 343. Gehler's Wörterb. N. B. Bd. V. S. 125.

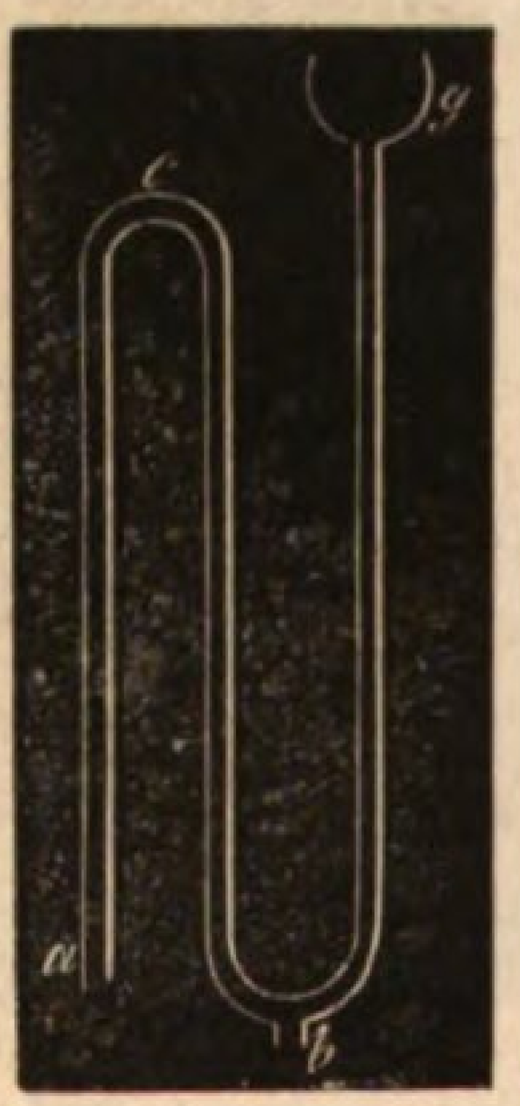
der Röhre g und der Heber wird fließen. — Eine dem doppelten Heber ähnliche Construction beschreibt Baumgartner *). Der längere Schenkel des Hebers acb (Fig. I.) wird bei b wieder umgebogen, und die lange Röhre bg endigt oben in einem Trichter, in der Biegung bei b aber befindet sich ein kleines Loch. Letzteres wird mit dem Finger geschlossen und in g Flüssigkeit gegossen, bis diese bis an c hinaufsteigt; dann wird die Oeffnung bei b geöffnet und der Heber beginnt zu fließen.

Auch braucht man nur bei dem einfachen Heber einen Hahn bei der Beugung anzubringen, auf welchen sich ein Trichter setzen läßt, durch welchen man alsdann den Heber füllt.

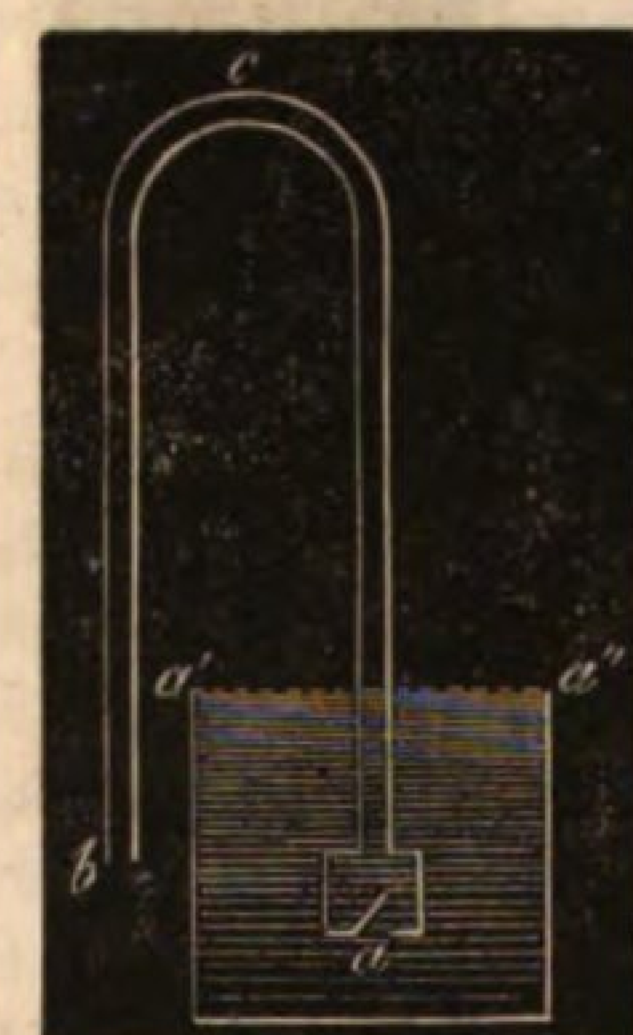
In allen den Fällen, in welchen es nicht darauf ankommt, daß die Flüssigkeit innerhalb des Gefäßes in geringe Bewegung gesetzt wird, ist der sogenannte Ventilheber anwendbar **). Der Heber acb (Fig. II.) ist auf gewöhnliche Art gebogen, am kürzeren Schenkel a aber mit einem kleinen Gefäße versehen, auf dessen Boden ein gewöhnliches Klappenventil sich befindet, welches sehr leicht beweglich sein muß. Wenn dieses Ende unter das Niveau der Flüssigkeit a'a' gesenkt wird, so füllt sich dasselbe mit einem Theile der Flüssigkeit, und wird dann der Heber stoßweise auf und nieder bewegt, so hebt sich die Flüssigkeit immer mehr in dem Schenkel, weil das Ventil kein Zurückfließen gestattet, steigt über den höchsten Punkt der Krümmung bei c hinaus, und der Heber fängt mit Hülfe einiger Neigung an zu fließen.

Der Methode des Saugens gerade entgegengesetzt ist die des Einblasens von Luft. acb (Fig. III.) ist ein gewöhnlicher Heber, welcher aber von a nach d

I.



II.



III.



wieder aufwärts gebogen ist. Bei a unten befindet sich eine kleine Oeffnung, durch welche die beiden Schenkel bei a mit der Flüssigkeit bis zum Niveau derselben im Gefäße sich füllen. Wenn man nach der Einsenkung bei d bläst, so wird die

---

*) Zeitschrift für Phys. und Math. Wien 1826. Bd. I. S. 70. Gehler's Wörterb. Bd. V. S. 126.

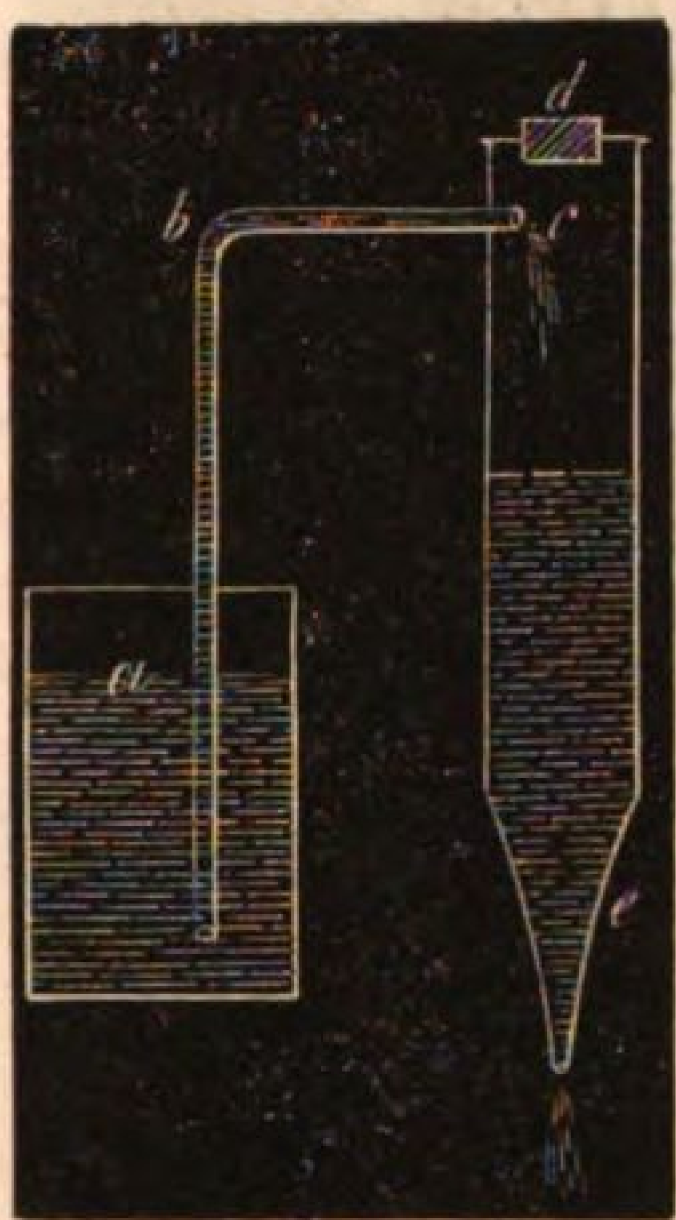
**) Encyclop. méthod. T. IV. p. 584.

Säule der Flüssigkeit m a m durch die kleine Oeffnung nicht so schnell entweichen können, sondern über c hinausgetrieben werden, und wenn sie lang genug ist, wird der Heber zu fließen beginnen.

Auch kann man das Füllen auf folgende Weise zu Stande bringen. Man führt den kürzeren Schenkel luftdicht durch einen Pfropfen, der von einer solchen Größe ist, daß er die Oeffnung des Gefäßes und zwar luftdicht zu verschließen vermag. Bringt man nun durch denselben Propfen oder an einer anderen Stelle des Gefäßes eine nur eben in das Gefäß hineinragende beiderseits offene Röhre luftdicht an und bläst durch diese, so wird durch den im Inneren des Gefäßes verstärkten Luftdruck die Flüssigkeit in dem Heber emporsteigen und ihn füllen.

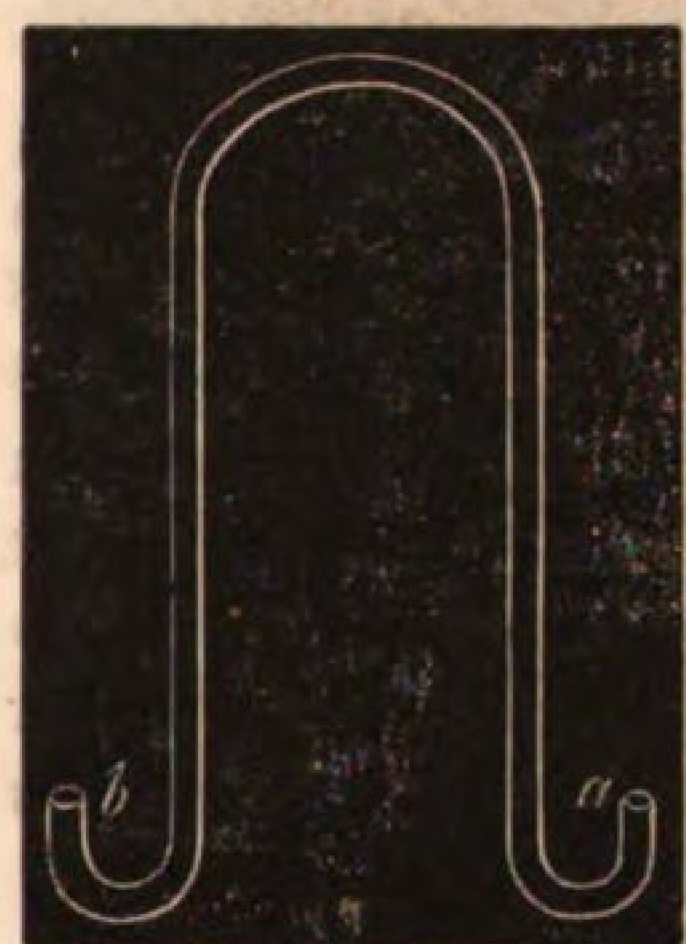
Einen Heber, der aus einer sehr engen Röhre gebildet ist, kann man zum Fließen bringen, wenn man nur den langen Schenkel mit Flüssigkeit anfüllt, und diesen, sobald der kurze Schenkel eingetaucht ist, fließen läßt, vorausgesetzt daß jener Schenkel lang genug ist. Es ist dies ein Capillarheber. Haben beide Schenkel gleichen Durchmesser, so muß der äußere Schenkel, falls der Heber fließen soll, eine Länge haben, welche die um die Länge der Beugung vermehrte doppelte Länge des inneren Schenkels noch übertrifft. (Vergl. Art. Haarröhrchenwirkung.)

I.



Ein aus einer nicht capillaren Röhre bestehender Heber kann, ohne ganz mit Flüssigkeit gefüllt zu sein, zum Fließen gebracht werden, sobald die eingeschlossene Luft eine Expansivkraft besitzt, welche um die Höhe des inneren Schenkels geringer ist, als die der atmosphärischen Luft. Man führe, um dies zu erreichen, den Schenkel a b c (Fig. I.) in das weitere, oben durch einen Pfropfen d verschließbare Gefäß d e, fülle dies durch die Oeffnung d und, nachdem diese wieder verschlossen ist, setze man den Schenkel a b in die Flüssigkeit und lasse bei e ausfließen. Da sich die Luft in d e verdünnt, so steigt die Flüssigkeit in a b empor und fällt bei c in das Gefäß d e herab.

II.



Wo man oft Säuren umzufüllen hat, z. B. in Schwefelsäurefabriken, bedient man sich eines Hebers, welcher stets gefüllt bleibt. Beide Schenkel sind gleich lang und unten wieder seitwärts und aufwärts gebogen zu gleicher Höhe. Ist der Heber einmal gefüllt, so bleiben beide Säulen im Gleichgewichte, da der Druck auf beide Oeffnungen a und b (Fig. II.) gleich ist; taucht man aber einen Schenkel in ein Gefäß mit derselben Flüssigkeit, so beginnt die Flüssigkeit aus dem anderen abzufließen, weil nun der eingetauchte Schenkel gewissermaßen eine Abkürzung erlitten hat und der Druck nach außen stärker ist, als nach innen. Dergleichen Heber werden von Blei angefertigt, damit sie von der Säure nicht so leicht angegriffen werden.

Diese Einrichtung ist eigentlich nichts anderes, als der sogenannte Reisel'sche oder Würtemberg'sche Heber, der zuerst als eine Widerlegung der richtigen Theorie des Hebers aufgestellt wurde *).

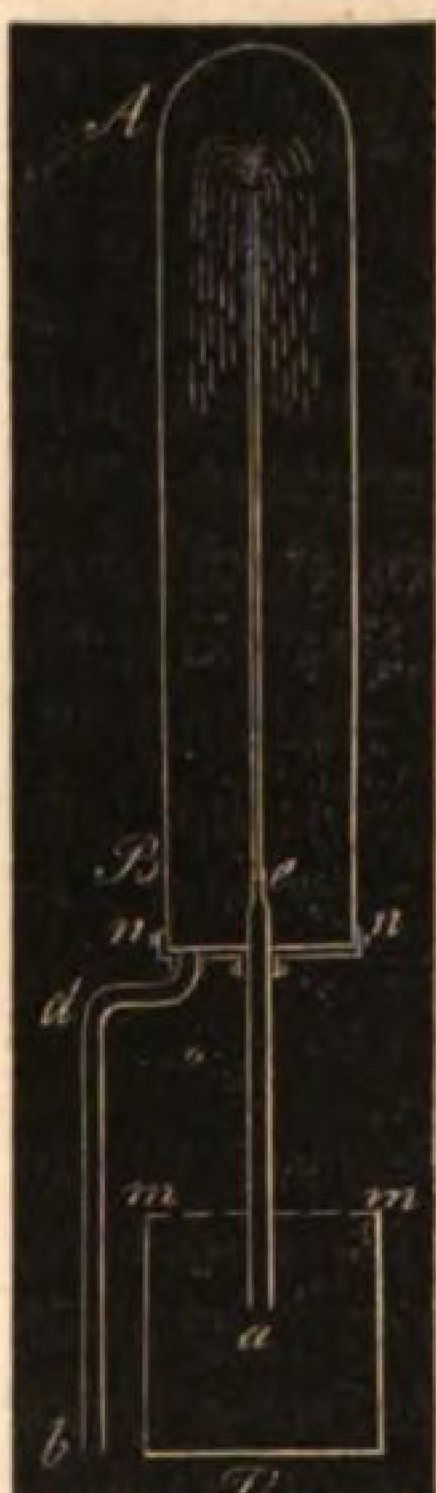
Der Heber ist schon sehr lange bekannt. Schon Heron von Alexandrien hat denselben gekannt und die Einrichtung mancherlei bekannter Kunstwerke auf denselben gegründet **).

Von den Anwendungen des Hebers, die zum Theil nur Spielereien sind, erwähnen wir nur die wichtigeren.

Biegt man das untere Ende des möglichst langen äußeren Heberschenkels wieder aufwärts um und zieht dies Ende in eine feine Spitze aus, so wird durch die Oeffnung derselben die Flüssigkeit wieder in die Höhe getrieben, so daß man eine Art Springbrunnen erhält. Ein derartiger Heber heißt ein Springheber. — Umgiebt man die Mündung eines solchen Hebers mit einem verticalen oder horizontalen Ringe, welcher mehrere feine Löcher hat, aus welchen alsdann die Flüssigkeit hervorsprudelt, so erhält man den Sonnenheber.

Der unterbrochene Heber wird nach Muncke ***) am besten auf folgende Weise construirt.

Der gläserne Cylinder AB, welcher am besten bei B mit einem Fuße versehen wird, um ihn darauf zu stellen, hat unten eine messingene Fassung nn, welche in der Mitte durchbohrt ist, um das eingeschrobene, bei e in eine Spitze zulaufende Rohr ae aufzunehmen. Ehe dieses eingeschroben wird, muß zuvor das zweite, ungleich längere und bei d gebogene Rohr db gleichfalls eingeschraubt sein, indem dieses Einschrauben der unbeholfenen Länge wegen auf allen Fall besser ist, als das Festlöthen desselben. Ist das Rohr db fest, so gießt man durch die Oeffnung des herausgenommenen Rohres ae etwa ein gemeines Trinkglas voll Wasser in den Cylinder, schraubt das Rohr ae ein, kehrt den Heber um, so daß das Rohr ae in das Wassergefäß D gesenkt ist. Das Wasser im Cylinder fließt durch das Rohr db herab, und der Heber fängt an zu springen; dieses aber dauert so lange, als der Verlust des durch das Rohr db abfließenden Wassers durch das aus der Oeffnung e springende wieder ersetzt wird. Die Erscheinung ist übrigens ganz einfach durch die Länge des Schenkels db bedingt. Denkt man sich nämlich die Springröhre e bis an das Ende des Cylinders verlängert, dort wieder umgebogen und bis in die Oeffnung des anderen Schenkels db zurückgeführt, so würden die Wassersäulen in beiden Schenkeln über dem Niveau mm sich das Gleichgewicht halten, die in dem Ende des langen Schenkels unter m bis b befindliche aber durch die ihrer Höhe proportionale Fallgeschwindigkeit eine dieser letzteren gleichfalls proportionale Geschwindigkeit des Fließens in jenen oberen



*) Sipho Wirtembergicus per majora experimenta firmatus. Stuttgard. 1690.
**) Heronis Alex. Spiritualium Liber, a Federico Commandino Urbinate ex Graeco in Latinum conversus. Amsterd. 1680. Graece Paris. 1593.
***) A. a. O. S. 128.

Theilen der Schenkel erzeugen, und werden dann diese weggenommen, so muß das Wasser aus e zu einer dieser Geschwindigkeit proportionalen Höhe springen, welche durch die etwas verminderte Dichtigkeit der Luft im Cylinder und den hiernach etwas geringeren Widerstand derselben gegen den Wasserstrahl noch um eine Kleinigkeit vermehrt werden wird.

Eine interessante Spielerei ist noch der Vexirbecher. Er kann geformt sein wie beistehende Fig. I. A ist ein Gefäß, welches bei a eine Oeffnung hat, in die eine wie a c b gestaltete Röhre, die äußerlich den Handgriff vorstellt, mündet, bei b ist die Röhre offen und ihr oberes Ende steht in gleicher Höhe mit dem Rande von A. Füllt man den Becher mit Wasser bis nahe an den Rand, so füllt sich gleichzeitig auch der Heber a c b, und so wie durch weiteres Füllen oder eine Neigung das Wasser bis zum Rande des Gefäßes sich erhebt, so ergießt sich sogleich der Heber a c b, und leert den Becher ganz aus. Da so das Wasser dem Trinkenden vor dem Munde entzogen wird, so hat man die Vorrichtung (nach der Sage von Tantalus) auch den künstlichen Tantalus genannt. Schon Heron kannte die Vorrichtung unter dem Namen des Diabetes. Sie kann übrigens, wie in der Natur der Sache liegt, mannichfaltig anders gestaltet sein.

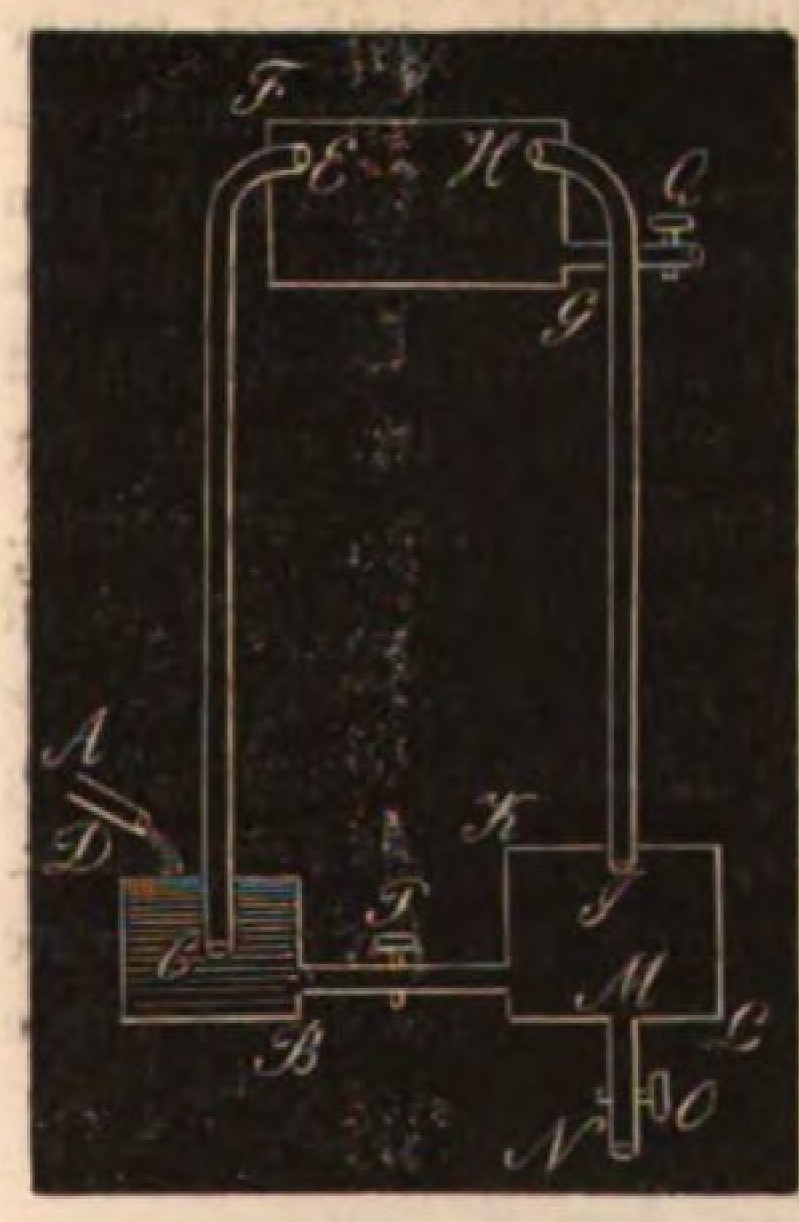
I.



Im Maschinenwesen hat man wenig Anwendung vom Heber gemacht. Leupold *) giebt folgende Maschine an, mittelst des Hebers Wasser in die Höhe zu fördern, welches dem ersten Anscheine nach mit dem Wesen des Hebers im Widerspruche zu stehen scheint.

Die Steigröhre CE steht in dem offenen mit Wasser gefüllten Gefäße AB (Fig. II.), und ist oben in das luftdichte Gefäß FG hinein geleitet. Dem ersteren Gefäße AB gegenüber wird ein anderes gleichfalls mit Wasser gefülltes Gefäß KL angebracht, welches mit dem Gefäße FG durch die Röhre HJ verbunden, übrigens aber gegen das Eindringen der äußeren Luft sorgfältig verwahrt ist. Am Boden desselben ist die mit dem Hahne O versehene Röhre MN angebracht, welche tiefer herabgehen muß, als die untere Oeffnung der Steigröhre C. Wird der Hahn O geöffnet, so läuft das Wasser aus dem Gefäße KL durch die Röhre MN ab, welche bei größerer Weite in ein Behältniß mit Wasser münden muß, um das Aufsteigen der Luft neben dem herabfließenden Wasser zu verhüten. Die Luft in HJ, FG und EC breitet sich in den Raum des vom Wasser entleerten Gefäßes KL aus, wird verdünnter, und der Druck der äußeren Luft treibt das Wasser aus dem Gefäße AB durch das Rohr CE in das Gefäß FG. Wenn der Behälter AB einen beständigen Zufluß hat, so kann man zwischen AB

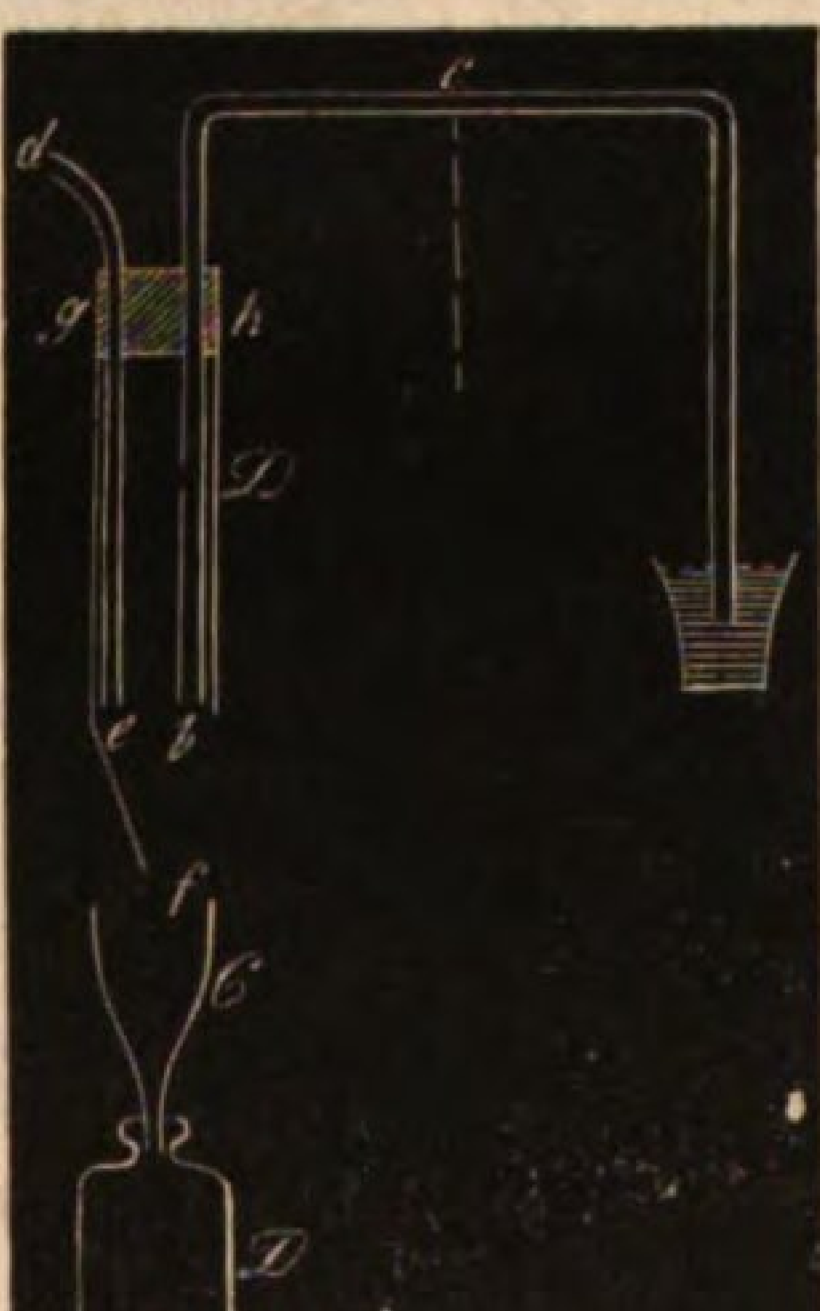
II.



*) Theatr. mach. Hydraul. T. I. §. 12.

und KL eine Verbindung durch eine Röhre mit dem Hahne P machen, und zugleich an FG eine Ablaufröhre mit dem Hahne Q anbringen. Wird dann P und Q geöffnet, O aber verschlossen, so füllt sich KL mit Wasser, die Luft entweicht durch HJ aus Q, bis KL gefüllt ist, dann wird P und Q verschlossen, O dagegen geöffnet und das Wasser steigt durch CE in das Gefäß FG. Dieses Verfahren läßt sich wiederholen, und da bei dem zweiten Oeffnen der Hähne P und Q nach dem Verschließen von O Wasser statt Luft aus dem Hahne Q fließt, so wird demnächst jedesmal das Wasser von A bis Q gehoben, und wenn das bis dahin gehobene Wasser zu einer zweiten ähnlichen Vorrichtung benutzt wird, so kann man hiernach durch Verbindung mehrerer solcher Vorrichtungen das Wasser zu beliebigen Höhen fördern. Die Steigröhre CE muß indeß viel unter 32 F. hoch sein, da das Gefäß FG nie luftleer wird. Wird z. B. die Luft in CE, FG und HJ durch das Auslaufen des Wassers aus KL bis zur Hälfte verdünnt, für welchen Fall der Cubikinhalt der Röhren CE und HJ nebst dem des Gefäßes FG dem des Behälters KL gleich sein muß, so wird die Luft zur Hälfte der atmosphärischen Dichtigkeit verdünnt, und die Länge von CE darf 16 F. nicht übersteigen. Nach Leupold soll daher der Cubikinhalt von KL doppelt so groß als von FG sein. Um diese Maschine im Großen anzuwenden, ist eine Vorrichtung zum Oeffnen und Verschließen der Hähne erforderlich. Schott *) beschreibt eine solche Maschine, durch welche Jeremias Mitz, ein Einwohner von Basel das Wasser in seinem Hause in einen erhabenen Behälter leitete. Leupold giebt eine ähnliche Einrichtung an, welche sich von dieser blos durch den Mechanismus zur Oeffnung der Hähne unterscheidet; auch zeigt er, eben wie Wolf **), auf welche Weise mehrere solche unterbrochene Heber zu verbinden sind, um das Wasser auf größere Höhen zu leiten ***).

Wegen einer Anwendung des Hebers bei der Wasserheizung, Fowler's Thermosiphon, vergl. Art. Heizung Absch. Heißwasserheizung C.



Bei chemischen Arbeiten kommt es zuweilen darauf an, daß eine zu filtrirende Flüssigkeit nur tropfenweis auf das Filtrum falle, und es würde sehr langweilig sein, bei dem ganzen langewährenden Proceß des Filtrirens selbst gegenwärtig sein zu müssen. Bischof ****) hat folgenden Heberapparat angegeben. Die zu filtrirende Flüssigkeit befindet sich in einem Gefäße, in welche der zweimal rechtwinklige gebogene Heber acb taucht. Das Ende des kürzeren Schenkels dieses Hebers ist in eine feine Spitze ausgezogen, der andere Schenkel b reicht in eine spitzauslaufende Glasröhre D, in der er durch einen Kork gh luftdicht befestigt ist. In diese Röhre D reicht durch den Kork noch eine zweite engere Glasröhre de, welche bei d und e

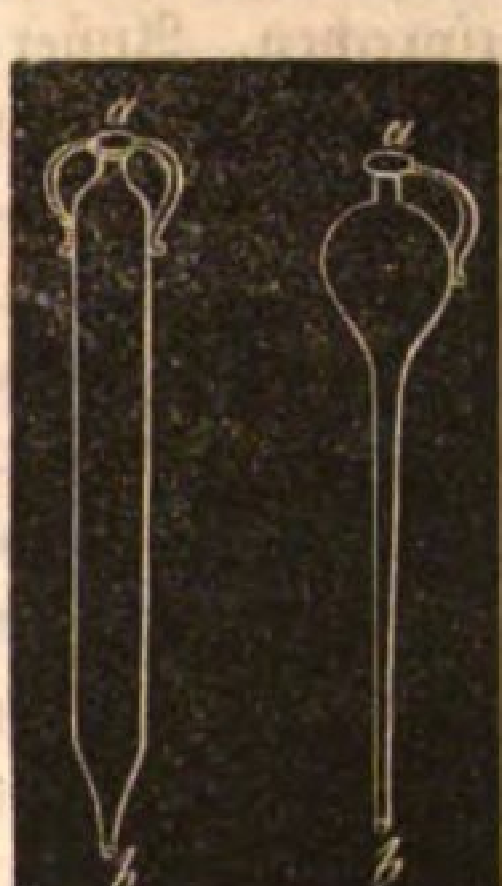
*) Technica curiosa L. V. cap. 1—3.
**) Elementa Matheseos. Hydraul. §. 79 u. 80.
***) Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 135.
****) Schweigg. Journ. Bd. XL. S. 478.

offen ist. B ist das Gefäß, welches die filtrirte Flüssigkeit aufnehmen soll, C der Filtrirtrichter mit dem Filtrum, in welches die Flüssigkeit aus A durch die Spitze f tröpfelt. Um den Heber in Thätigkeit zu setzen, saugt man bei d, nachdem das Ende a in A eingetaucht worden. Zweckmäßiger erscheint indessen zu dergleichen Arbeiten das sogenannte Mariottische Gefäß, über welches das Nähere im Art. Filtriren zu finden ist.

Wenn man eine leicht von der Flüssigkeit durchdringbare Substanz, z. B. Fließpapier, Baumwolle rc. zusammenrollt, befeuchtet und nun in Gestalt eines Hebers biegt, so wirkt sie auch als ein solcher. Man bedient sich dieser Vorrichtung zuweilen in der Pharmacie, um kleine Quantitäten Flüssigkeit aus einem Gefäß in ein anderes überzuführen. Die Substanzen ziehen die Flüssigkeiten vermöge ihrer Haarröhrchenwirkung aufwärts und leiten sie über, wenn sie als Heber gebogen werden. Schon ein Faden kann auf diese Weise zum Heber dienen.

In den Gesetzen des Hebers ist wahrscheinlich auch der Grund zu suchen, warum manche Quellen auf der Erde nur periodisch fließen. Nehmen wir an, daß sich im Inneren der Erde ein Wasserbehältniß befindet, welches mittelst eines heberförmigen Kanales mit dem Ausflußorte der Quelle an der Oberfläche der Erde in Verbindung steht, so daß dieser Kanal mit der äußeren Mündung niedriger liegt, als das Wasserbehältniß; so wird sich das Wasser durch den heberförmigen Kanal nicht eher ergießen, als bis dasselbe in dem Kanale über den höchsten Punkt zu stehen kommt, dann aber fließt das Wasser so lange, bis die innere Kanalmündung nicht mehr durch Wasser verschlossen ist. Sammelt sich das Wasser aufs Neue in dem Behälter, so wird die Quelle wiederum zu fließen beginnen, sobald die Ansammlung bis zu der eben bezeichneten Höhe gestiegen ist, und da im Allgemeinen hierzu stets dieselbe Zeit erforderlich sein wird, so muß das Aussetzen und Fließen der Quelle nach bestimmten Zeitabschnitten erfolgen. Vergl. Art. Quelle und über den Czirknitzer See Art. Seen. H. E.

Heber, gerader, oder Stechheber ist eine kurze, höchstens einige Fuß lange, beiderseits offene Röhre von Glas oder Blech, mittelst welcher man aus Fässern oder anderen Gefäßen Flüssigkeiten herausholt. Die gewöhnlichen Formen des Stechhebers sind in den beiden Figuren kenntlich; entweder ist derselbe cylindrisch oder oben mit einer größeren Erweiterung versehen. Die obere Oeffnung, neben welcher entweder eine oder zwei Handhaben sich befinden, durch welche man einen Finger bequem stecken kann, ist von einer solchen Größe, daß man sie mit einem Finger bequem luftdicht verschließen kann; die untere Oeffnung ist kleiner. Der Durchmesser des cylindrischen Stechhebers ist kleiner, als der eines gewöhnlichen Spundloches an einem Fasse.



Taucht man das untere Ende b in eine Flüssigkeit, so füllt sich der Stechheber, bis die Flüssigkeit im Innern mit dem Niveau außerhalb gleich hoch steht; saugt man außerdem noch an der oberen Oeffnung a, so füllt sich das Innere noch höher, ja bei fortgesetztem Saugen bis an a selbst. Glaubt man eine ausreichende Menge der Flüssigkeit in dem Stechheber angesogen zu haben, so verschließt man die Saugöffnung schnell mit dem Finger und hebt den Stechheber aus der Flüssigkeit heraus.

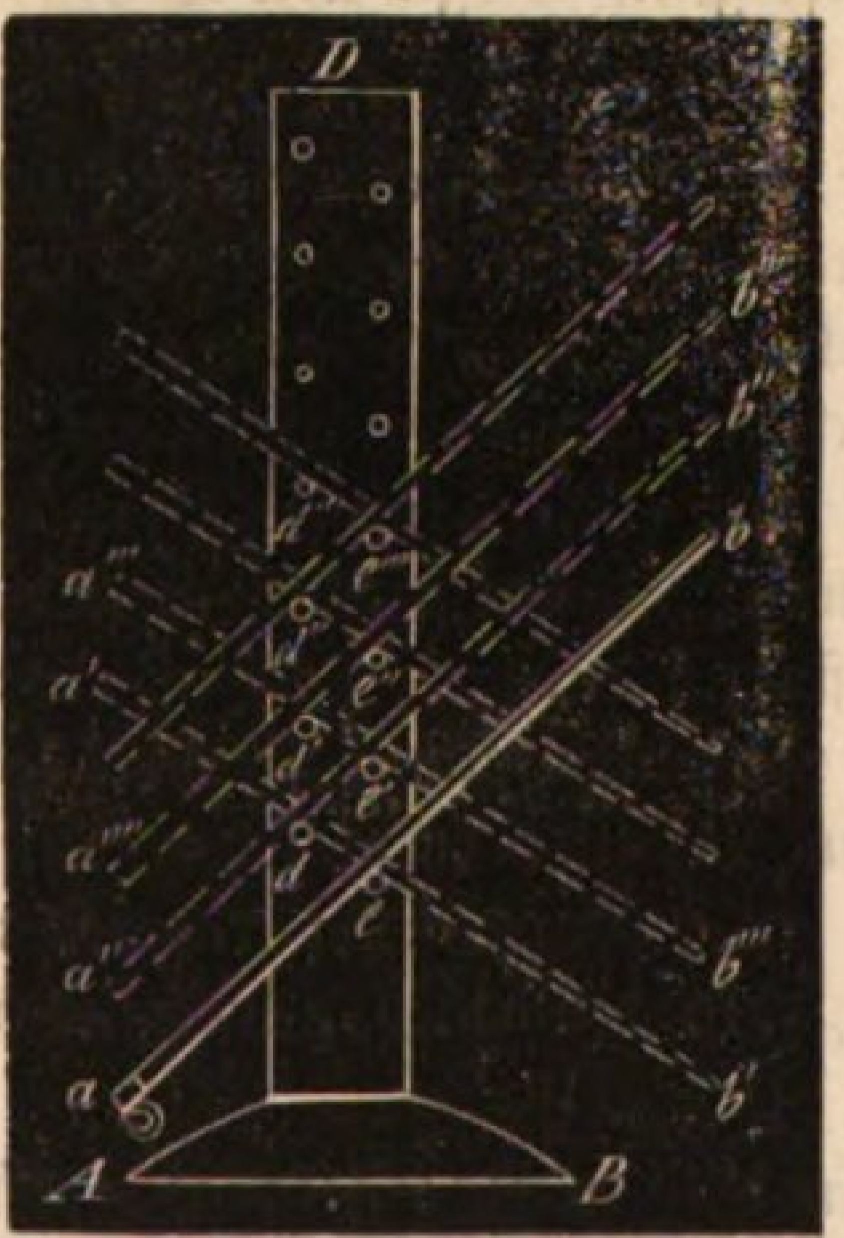
Den so gefüllten Heber läßt man alsdann in ein anderes Gefäß ausfließen, indem man den Finger von der Oeffnung a wegzieht. Das Ausfließen kann man auch unterbrechen, wenn man die obere Oeffnung durch den Finger wieder verschließt.

Der Gebrauch des Stechhebers gründet sich auf den Druck der Luft *).

Durch das Saugen an a wird die Luft im Innern des Stechhebers verdünnt, und durch den äußeren, stärkeren Luftdruck wird nun die Flüssigkeit so hoch empor gedrückt, bis ihr Druck sammt dem Drucke der in dem Heber noch befindlichen Luft dem der äußeren Luft das Gleichgewicht hält. Sobald der Finger von der Oeffnung a weggezogen wird, ist der Druck im Inneren um den Druck der Flüssigkeitssäule im Stechheber größer als der äußere Druck, und die Flüssigkeit muß mithin ausfließen. H. E.

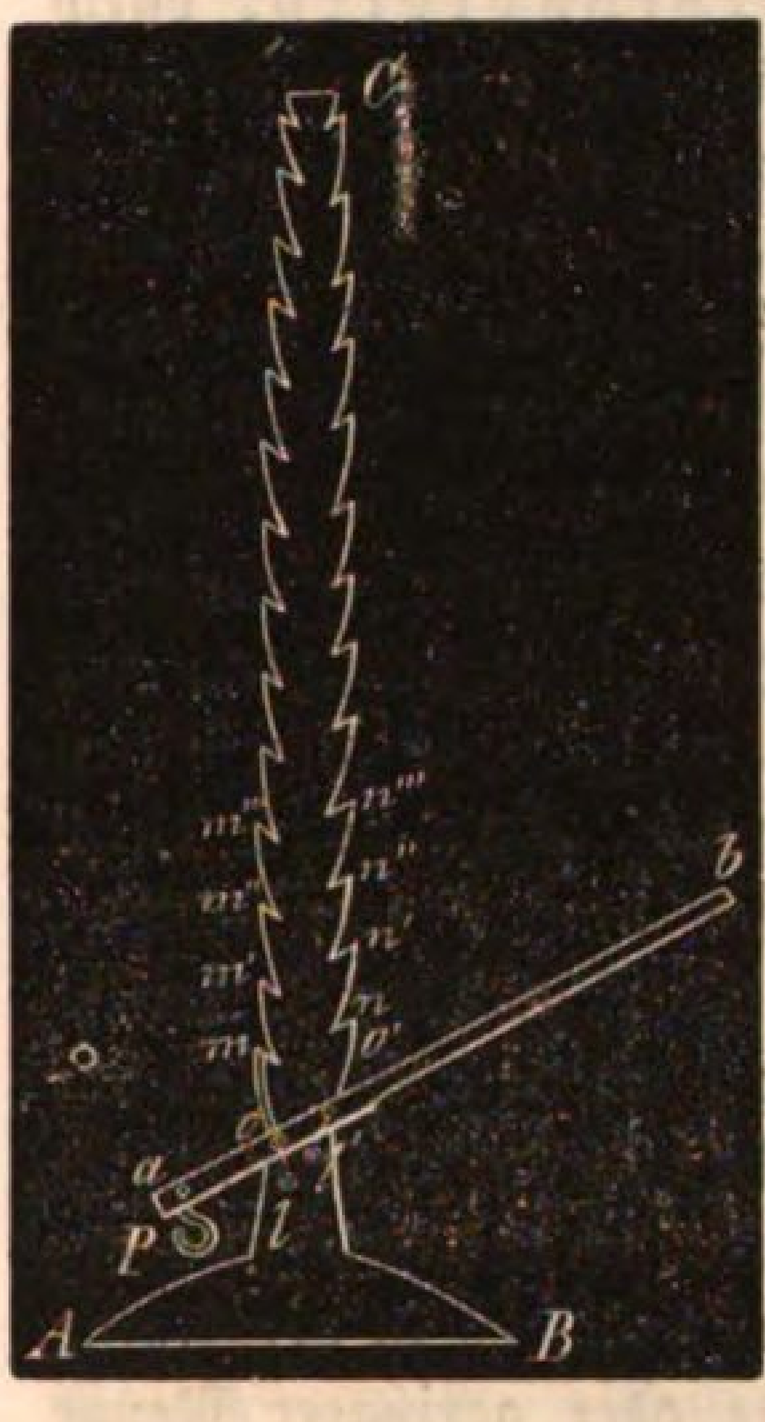
Hebezeug, Heblade nennt man eine auf die Gesetze des Hebels gegründete Vorrichtung zur Hebung größerer Lasten. Die Anwendung des gewöhnlichen Hebels zu demselben Behufe erfordert einen kleinen Hebelarm auf Seite der Last im Verhältniß zu dem Hebelarm der Kraft, so daß die Last durch einmaliges Herunterdrücken des Armes, auf welchem die Kraft ruht, nicht sehr hoch gehoben werden kann. Bei den Hebladen ist nun die Einrichtung so getroffen, daß man nach jedem Herunterdrücken des Hebels die Last auf der erreichten Höhe erhalten, alsdann den Unterstützungspunkt erhöhen, aufs Neue die Kraft in Wirkung setzen, und so durch mehrmaliges Herunterdrücken des Armes auf Seiten der Kraft die Last zu einer größeren Höhe heben kann, als mittelst des einfachen Hebels möglich gewesen wäre. Man hat die Construction der Heblade je nach den besonderen Zwecken, zu denen man sie anzuwenden beabsichtigte, mannichfach abgeändert.

Die sogenannte deutsche Heblade zeigt nebenstehende Figur. Auf dem Fußgestelle A B sind zwei hölzerne Backen aufgerichtet, von denen die Figur nur den vorderen D zeigt. Zwischen beiden Backen befindet sich der Hebebaum ab, der sich leicht zwischen ihnen bewegen kann. Die Backen sind mit den Löchern e, e′, e″, e‴, ... und d, d′, d″, d‴, ... versehen, welche, wie die Figur zeigt, geordnet sind. Die Löcher in dem einen Backen müssen genau den Löchern in dem anderen Backen entsprechen. Außerdem hat man zwei Bolzen, welche in die Löcher passen, so daß sie nach Bedürfniß in dieselben eingeschoben und dem Hebel zum Ruhepunkte dienen können. Das Ende des Hebels a ist mit einem Haken versehen, woran die zu hebende Last befestigt werden kann. Zuerst wird nun ein Bolzen in e eingeschoben, der Hebelarm darauf gelegt, und der längere Arm b heruntergedrückt, so daß der ganze Hebebaum die Lage a′b′ annimmt. Hierauf schiebt man den zweiten Bolzen in das Loch d, hebt b′ wieder empor, bis sich der längere Arm über e′ befindet, setzt nun den ersten Bolzen aus e in e′, drückt b′ wieder herab, bis der längere Arm über d′ steht; und so wird



*) Vergl. Art. Barometer. Bd. I. S. 655 und Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 465.

abwechselnd b gesenkt und gehoben, wo dann nach und nach der Hebebaum die verschiedenen Lagen a b, a′ b′, a″ b″, a‴ b‴, ... einnimmt, bis zuletzt die Last an a die gewünschte Höhe erreicht hat. Bei der ganzen Operation sind zwei Arbeiter nöthig, einer, welcher den Hebebaum regiert, und ein anderer, welcher die Bolzen einsteckt. Einfacher ist folgende Einrichtung der Heblade, bei der nur ein Arbeiter nöthig ist. Auf dem Fußgestelle AB ruht der eiserne Träger C, etwa 6 Zoll breit und 1 bis 2 Zoll dick. An beiden Seiten desselben befinden sich die Einschnitte n, n′, n″, ... und m, m′, m″, ..., in welche die Widerhaken o und o′ eingreifen und das Herabfallen des Hebebaums a b hindern. Letzterer ist in der Mitte so eingeschnitten, daß der eiserne Träger C durch die Oeffnung gesteckt werden konnte. Die Gegengewichte l, l′ drücken die Widerhaken so gegen die Einschnitte, daß sie, ohne umzuschlagen, jederzeit in dieselben eingreifen. Wird also der Hebelarm b niedergedrückt, so steigt die Last P in die Höhe, bis der Haken o in den Einschnitt m′ eingreift, läßt man aber den Hebelarm b wieder in die Höhe gehen, so schiebt sich der Haken o′ hinauf, bis er in den Einschnitt n′ einfällt, und durch Wiederholung dieses Verfahrens wirkt diese Heblade ungleich schneller und bequemer als die zuerst beschriebene.



Heizung (Calefactio; chauffage; heating, warming).

A. Heizung im Allgemeinen.

Die Absicht des Heizens ist, wie auch durch den Wortstamm angedeutet wird, einen hohen Temperaturgrad hervorzubringen, um dadurch entweder unmittelbar auf einen Körper einzuwirken, z. B. in einem Schmelzofen, bei einem Dampfkessel, oder mittelbar die local erzeugte hohe Temperatur zur Erwärmung anderer Körper oder anderer Räume bis auf einen erwünschten Grad zu benutzen, z. B. beim Erwärmen von Wohnungen, Treibhäusern und dergleichen. Ohne Erwärmung ist keine Heizung denkbar, wohl aber Erwärmung ohne vorangegangene Heizung. Deshalb ist die Heizung, wie das Erwärmen überhaupt, darauf gegründet, verschwundene Wärme wieder hervorrufen und Wärmehervortretung ermöglichen oder Wärme frei machen zu können. So lange nämlich die Wärme für die Sinne unwahrnehmbar ist und selbst nicht auf diejenigen Instrumente wirkt, welche dazu dienen, dieselbe bemerkbar zu machen und zu messen, so lange ist dieselbe als latente oder gebundene Wärme zu betrachten, im entgegengesetzten Falle ist sie frei. Es kommt also darauf an, gebundene Wärme frei zu machen. Indessen wenn auch jede gebundene Wärme durch irgend welche Hülfsmittel frei zu machen möglich ist, so sind doch nicht immer die Umstände der Art, daß die frei gewordene Wärme zum Heizen ausreichend sein dürfte. Man kann daher zum Heizen nur diejenigen Mittel benutzen, durch welche eine höhere Temperatur erzeugt wird und — kann man noch hinzufügen — beliebig lange andauernd erhalten werden kann.

Wärme kann durch mancherlei Mittel hervorgebracht werden: durch das

Sonnenlicht, durch die Compression gewisser Substanzen, durch den Stoß, durch die Reibung, durch Elektricität, durch Aggregatsänderung, durch chemische Processe, durch den Lebensproceß, durch Mittheilung. Die meisten dieser Wärmequellen können jedoch nicht zum Heizen gebraucht werden, selbst wenn sie an sich sehr energisch sind, oder zu einer bedeutenden Wirksamkeit gesteigert werden können. Dies ist z. B. der Fall mit dem Sonnenlichte, welches als die vorzüglichste Wärmequelle auf der Erde anzusehen ist, und durch Brennspiegel und Brenngläser so concentrirt werden kann, daß eine sofortige Entzündung und Schmelzung schwer entzündlicher und schwer schmelzbarer Körper dadurch erreicht wird. Eben so wenig möchte die Idee ausführbar sein, die Compression *) oder den Stoß als Heizmittel zu benutzen; mit der Reibung hingegen hat man es versucht, nur sind die hierüber angestellten Versuche zu keinem praktischen Resultate gekommen, wiewohl Rumford durch die beim Bohren eines Geschützes erzeugte Wärme Wasser zum Kochen brachte. Ueber die Benutzung dieser Wärmequellen zum Anmachen des Feuers vergl. Artikel Feuerzeug. Daß man die durch den Lebensproceß erzeugte Wärme nicht zum Heizen gebrauchen kann, liegt auf der Hand, wiewohl dieselbe zu localer Erwärmung beitragen wird. Käme es blos auf eine Erwärmung an, wie dies bereits als ein Zweck der Heizung bezeichnet wurde, so könnte man, da in der Natur es unter gewissen Fällen Körper giebt, welche eine größere oder geringere Menge freier Wärme besitzen, z. B. heiße Quellen, Laven, diese benutzen; in manchen Fällen bedient man sich auch wohl in gleicher Absicht der in den Werkstätten der Menschen gewonnenen Körper von hoher Temperatur, z. B. der Schlacken. Dies wäre Erwärmung durch Mittheilung. Die Elektricität benutzt man in Feuermaschinen und beim Minensprengen zum Entzünden, auch für Zwecke der Erleuchtung sind die Versuche nicht ungünstig ausgefallen, wenn gleich noch lange nicht allen Anforderungen entsprechend; nicht unmöglich dürfte es aber wohl sein, constante Batterien auch zur Heizung zu verwenden. Gewiß würde man hierin eine sehr kräftige Wärmequelle erhalten. Die Hauptquelle der durch das Heizen zu gewinnenden Wärme bleibt jedoch der chemische Proceß und zwar der des Verbrennens, so daß man sagen könnte, der Zweck der Heizung sei der, so vollständig und so vortheilhaft als möglich die durch den Verbrennungsproceß erzeugte Wärme zu praktischen Zwecken zu benutzen.

Die Erzeugung der Wärme beim Verbrennen gründet sich auf die Erfahrung, daß gewisse Stoffe, wenn dieselben in ihrer Temperatur bis zu einem gewissen Grade erhöht sind (vergl. Art. Feuer Bd. III. S. 142), entweder unmittelbar Sauerstoff der Atmosphäre so aufnehmen, daß sich derselbe um ein bedeutendes Vielfaches verdichtet, oder daß dieselben sich in ihrer Beschaffenheit verändern und bei dieser Veränderung eine Verbindung mit dem Sauerstoffe eingehen, durch welche Wärme frei gemacht wird. Alle diejenigen Stoffe, welche diese Eigenschaft besitzen, werden allgemein Brennstoffe oder brennbare Körper genannt.

Es giebt dieser Stoffe in der Natur eine große Zahl, und unter günstigen Verhältnissen wird bei jedem dieser Körper die durch das Verbrennen erzeugte

---

*) Arzberger in Jahrb. des polytechn. Inst. Bd. XVII. S. 1.

Wärme zur Heizung benutzt werden können. Durch den Uebertritt des Sauerstoffgases nämlich an die in Oxydation befindlichen Körper wird das Gas des Sauerstoffes verdichtet, und diese Verdichtung ist mit dem Freiwerden von Wärme begleitet. Da nun jedes durch Oxydation entstandene Product dichter ist als das Sauerstoffgas selbst, so wird auch bei jeder Oxydation Wärme frei. Wenn nun, indem zu der Oxydation selbst ein bestimmter Temperaturgrad nöthig ist, die freigewordene Wärme mehr denn ausreichend ist, die zur Fortsetzung der Oxydation nöthige Temperatur zu erhalten, so kann der nicht hierauf verwendete Theil der frei gewordenen Wärme bei der Heizung regiert und anderweitig benutzt werden. Diejenigen Stoffe, bei welchen ein solcher Wärmeüberschuß bei der Oxydation sich ergiebt, sind vorzugsweise die Brennmaterialien, vorausgesetzt, daß sie in ausreichender Menge zu Gebote stehen und ihre Anschaffung nicht zu kostspielig ist.

B. Brennmaterialien.

Die **Brennmaterialien** bestehen in thierischen und vegetabilischen Substanzen, in getrocknetem und zum Theil in natürlichem Zustande. Muskelsubstanz, Fleisch, Fische, Knochen, Federn, Häute, Leder, thierische Kohle, Wachs, Fett, Talg und Stroh, Heu, trockne Pflanzenstengel, Moos, Rinde (Lohe), Wurzeln, Blätter, Reisig, Holz, Holzkohlen, Früchte und Samengefäße, Pech, Oele, Zucker, Alkohol, spirituöse Sachen und andere animalische und vegetabilische Stoffe können verbrannt werden. Von den unorganischen und veränderten organischen Producten gehören dazu Anthracite, Steinkohlen, Pechkohlen, Kandlekohlen, Grobkohlen, Schieferkohlen, Kalkkohlen, Braunkohlen, Moorkohlen, Erdkohlen und bituminöse Hölzer, Torf, Schwefel, Phosphor, Elaterit, Asphalt, Erdöl, Naphta, Bernstein, Kohlenoxydgas, Kohlenwasserstoffgas und Schwefelwasserstoffgas.

Die Kenntniß der Wirksamkeit jeder brennbaren Substanz ist in der Technik zu wissen nöthig. Nicht alle genannten Brennstoffe werden für gewöhnlich, wenigstens nicht im mittleren Europa, zur Unterhaltung von Feuer benutzt. Einige davon dienen nur zur Aushülfe beim Ueberflusse davon, oder wenn etwas davon zu anderem Verbrauche undienlich geworden ist, z. B. die Abfälle thierischer Substanzen, als: Haare, Knochen, Fett, trockneѕ Fleisch, Häute, Federn, Mist, Excremente; von Pflanzenstoffen hingegen: Blätter, Heu, Stroh, Wurzeln, und von unorganischen Substanzen: Erdpech, Erdöl, Naphta. Am häufigsten werden verwendet zum Verbrennen in Absicht der Heizung und Erwärmung Holz der Vegetabilien von Stämmen und Aesten in natürlichem Zustande, getrocknet oder verkohlt als Kohlen und als Lohe; ferner Steinkohlen jeder Art, sowohl in dem Zustande, in welchem man dieselben gewann, als auch abgeschwefelt oder verkoakst, wenn sich dieselben in diesen Zustand versetzen lassen, oder in Ziegel geformt mit zusammenbackenden Thontheilen, sofern dieselben als Bruchstücke gewonnen worden waren. Außerdem wird auch der Torf gebraucht.

Nicht von allen hier genannten Brennmaterialien ist Behufs technischer Zwecke genau bekannt, bis zu welcher Wirksamkeit dieselben benutzt werden können. Im Allgemeinen wirken diejenigen von jedem Stoffe am kräftigsten, welche am trockensten sind, nicht blos in Bezug auf gleiche Gewichts- oder Maßtheile von Substanzen in verschiedenem Trockenheitszustande, wo diejenigen, welche am feuchtesten sind, den wenigsten Brennstoff und die meiste Flüssigkeit eingeschlossen enthalten,

sondern auch selbst in Bezug auf die Brennkräfte gleicher Quantitäten Brennstoff von trocknen und feuchten Brennmaterialien einer Art, weil von dem feuchteren Materiale während des Verbrennens erstens ein Theil der Wärme auf die Verdampfung des Wassergehaltes verwendet wird, und zweitens die Verbrennung selbst nur unvollkommen erfolgen kann, da eben ein Theil der Wärme zur Verdampfung des Wassers verbraucht ist. Das unvollkommene Verbrennen ist Veranlassung, daß ein großer Theil des Brennstoffes, anstatt in Feuer überzugehen, in nicht bis zur Entzündlichkeit gekommenen Gasen, als Theer und Kohlenoxydgasdämpfe im Rauche entweicht.

Der Wassergehalt ist nicht nur verschieden, je nachdem der Brennstoff längere oder kürzere Zeit zum Austrocknen gelegen hat oder nicht, sondern auch nach der Natur des Stoffes selbst. Frische Pflanzenstoffe und frisch gewonnene Steinkohlen oder neugegrabener Torf enthalten mehr Feuchtigkeit als älter gewordene und an der Luft getrocknete oder überhaupt durch natürliche Verflüchtigung der wässerigen Stoffe trocken gewordene Massen. Die Hölzer enthalten sehr ungleiche Mengen von Feuchtigkeit, wenn sie eben gefällt sind. Man rechnet bei frisch gefälltem Holze in 100 Gewichtstheilen nach Schübler und Hartig *) Wassergehalt:

Hainbuche (Carp. betul.)	18,6
Saalweide (Sal. caprea)	26,0
Ahorn (Ac. pseudoplat.)	27,0
Vogelbeere (Sorb. aucup.)	28,3
Esche (Frax. excels.)	28,7
Birke (Betula alba)	30,8
Mehlbeere (Crataeg. tormin.)	32,3
Traubeneiche (Querc. rob.)	34,7
Stieleiche (Querc. pedunc.)	35,4
Weißtanne (Pin. abies dur.)	37,1
Roßkastanie (Aescul. Hippoc.)	38,2
Kiefer (Pin. sylvestr.)	39,7
Rothbuche (Fag. sylvat.)	39,7
Erle (Betul. alnus)	41,6
Espe (Popul. tremula)	43,7
Ulme (Ulm. campestr.)	44,5
Rothtanne (Pin. picea)	45,2
Linde (Til. europ.)	47,1
Ital. Pappel (Pop. dilat.)	48,2
Lärche (Pin. larix)	48,6
Baumweide (Pop. alba)	50,6
Schwarzpappel (Pop. nigra)	51,6

Je nachdem die verschiedenen Holzarten nach dem Zerspalten und Zerschneiden, welches das Austrocknen befördert, ausgetrocknet sind, enthalten dieselben noch 10 bis 20 und 25 Proc. Wasser. Unter 10 Proc. kann nicht leicht ein Holz trocken gemacht werden, selbst nach jahrelanger Aufbewahrung, nicht einmal durch

*) Knapp, Lehrbuch der chemischen Technologie. Braunschweig 1847. Bd. I. S. 7.

Austrocknung in gewärmten Räumen. In Feuchtigkeit nimmt selbst scharf ausgetrocknetes Holz 10 und mehr Proc. Wasser wieder auf. Ausführliche Untersuchungen sind hierüber angestellt von dem Amerikaner Marcus-Bull *). Holzkohlen absorbiren sehr schnell Wasser aus der Luft bis zu 7 und 8 Proc., ja selten findet man weniger als 10 bis 12 Proc. Wasser in ihnen. Haben sich die Kohlen ganz voll Wasser gesogen, so heißen sie „ersoffene"; ausgetrocknet werden sie jedoch wieder brennbar. Torf hält wenigstens 25 bis 30 Proc. Wasser in lufttrocknem Zustande. In frisch geförderten Steinkohlen findet man in der Regel höchstens 2 Proc. Wasser, da sie jedoch gewöhnlich im Freien aufbewahrt werden, so steigt dieser Gehalt beträchtlich, namentlich bei kleinstückiger Kohle.

Die Hölzer werden in ökonomischer Beziehung als harte und weiche unterschieden. Erstere enthalten gegen letztere bei gleichem Gewichte ein größeres Volumen. Das specifische Gewicht der Hölzer variirt von 1,35 beim Granatbaumholze bis 0,38 beim Pappelholze, ja bis 0,24 beim Korkbaum **). Die weniger dichte Beschaffenheit der weichen Holzarten vermittelt eine leichtere Zersetzung des Holzes in Flamme, was bei harzreichen weichen Hölzern wegen des größeren Harzgehaltes noch zu viel größerer Lebhaftigkeit gesteigert wird. Härtere Hölzer geben jedoch länger in Gluth liegende Kohlen und verbrennen selbst sparsamer bei einer gleichen Trockenheit gegen weichere Holzarten, wobei indessen zu bemerken ist, daß sich dieser Unterschied im Verbrennen des harten und weichen Holzes durch verhältnißmäßige Zerkleinerung ausgleichen läßt. Für Flammenheizung sind weiche und harzige Holzarten besser, als harte und weniger harzige.

Das Brennholz wird meistentheils nicht nach dem Gewichte, sondern nach dem Volumen angekauft. Zu diesem Zwecke wird es zuerst im Walde abgeschätzt, sodann gefällt, in Theile von bestimmter Länge geschnitten, und je nach der Dicke und seiner Art als Stamm- oder Reißholz entweder gespalten oder ungespalten zusammengeklaftert oder parallel übereinander gehäuft in eine Klafter hohen und nach Klaftern in der Länge abzumessenden regelmäßigen Räumen. Der Cubikinhalt an Brennmaterial von aufgeklaftertem Holze ist verschieden, je nachdem dasselbe regelmäßiger geformte Stücke liefert, und je nachdem es sorgfältiger in den geklafterten Haufen eingeschichtet ist. Eine Klafter drei Fuß langes gutes Scheitholz enthält etwa $^1/_5$ seines Volumens oder 21,6 Cubikfuß Zwischenraum und 86,4 Cubikfuß solide Holzmasse. Das unregelmäßigste Holz z. B. Stock- und Knüppelholz enthält von ersterem vielleicht selbst $^2/_3$ bis $^3/_4$ des Ganzen. Wenn das ganze Volumen des aufgeklafterten ganz gesunden, gerade gespaltenen und gut geschichteten Holzes = 1,000 gesetzt wird, so erhält man nach Prechtl ***) folgende Zahlenverhältnisse für die leeren Zwischenräume und Gewichte:

---

*) Le bulletin de la Société d'encouragement, de 1827.

**) Vergl. Knapp, a. a. O. Bd. I. S. 9 und Peclet, Traité de la chaleur. 3me edit. Liége 1844. p. 28.

***) Technologische Encyklopädie. Bd. III. S. 90.

Holzart	Leerer Zwischenraum	Gewicht der Klafter in Scheiten von 3 Wiener Fuß Länge in Wiener Pfunden	
		bei 25 Proc. Wassergehalt	bei größtmöglicher Austrocknung
Buchenholz	0,287	3311	2484
Birkenholz	0,305	3370	2530
Eichenholz	0,305	3300	2455
Schwarzföhrenholz . .	0,444	2700	2025
Fichtenholz	0,222	2680	2011
Tannenholz	0,315	2360	1771
Erlenholz	0,370	2380	1771
Weidenholz	0,308	1950	1464

Die letzte Rubrik ist besonders wichtig, weil sie einen Anhalt giebt den Werth der verschiedenen Holzarten als Brennmaterial für gleichen Umfang zu beurtheilen. Im Verkehr wird für Fichten-, Tannen- und Kieferholz im Durchschnitt die Klafter zu 2200 Pfund und für Buchenholz zu 2880 Pfund anzunehmen sein.

Häufiger Gebrauch wird von geflößtem Holze gemacht; dies verliert jedoch durch die Berührung mit dem Wasser einen großen Theil seiner harzigen Brennstoffe, ein Verlust, welcher 20 und mehr Proc. des gesammten Brennstoffes betragen kann.

Holzkohlen, entstehend aus dem Holze durch langsame Vertreibung der in gasförmigen Zustand zu versetzenden Stoffe des Holzes und gewonnen mittelst Glühung von Hölzern in abgeschlossenen Räumen (vergl. Art. Kohlenstoff), haben verschiedenes Gewicht, je nachdem dieselben von hartem oder weichem Holze herrühren. In Stücken ist die Holzkohle leichter als Wasser, aber in Pulverform ist das specifische Gewicht fast 2. Im Mittel soll nach Prechtl *) 1 Wiener Cubikfuß weiche Kohlen 8 Wiener Pfund und 1 Cubikfuß harte Kohlen 12 Pfd. wiegen. Das Gewicht eines Maßes mit Kohlenstücken von 2 Cubikzoll Volumen verhält sich zu dem Gewichte desselben Maßes mit 30 Cubikzoll großen und ganz großen Stücken wie 72 zu 61 und 58.

Unter übrigens gleichen Umständen geben dem Gewichte nach Eichenholz 22,8 Proc. Kohle; Eschen 19,4; Ahorn 19,8; Buchen 17,8; Birken 17,6; Pappeln 14,7; Linden 16,2; Weiden 15,0; Tannen 20,1; Fichten 20,6. Größere Meiler liefern verhältnißmäßig mehr Kohle, als kleinere.

Torf, ein sehr häufig angewendetes Brennmaterial, besteht aus einer Masse abgestorbener Sumpfpflanzen, vermengt mit erdigen Theilen. Nach den Pflanzenresten, welche derselbe enthält, heißt er Wurzeltorf oder Blättertorf, nach der Art seines Vorkommens Rasen- oder Moortorf, nach der Art der Gewinnung Streich- oder Stechtorf. Hauptsächlich unterscheidet man jedoch nur zwei Varietäten, von denen die eine, die leichteste, die wurzelreichsten, die andere und schwerere die erdigen Torfe umfaßt. Jene erscheinen wie filzartig verschlungene Gewebe von Wurzeln und Holzstücken; letztere nähern sich der Beschaffenheit von Braunkohlen. Zu-

*) A. a. O. S. 94.

weilen werden fälschlicherweise wirkliche in Ziegelform gebrachte Erd- und Braunkohlen Torfziegel genannt. Torf brennt im Allgemeinen langsam und verzehrt sich sehr gleichmäßig.

Die Steinkohlen sind mineralische oder fossile Brennmaterialien, d. h. sie bilden einen Theil der Erdrinde und kommen in Gebirgsgesteinen eingeschlossen vor. Man unterscheidet zwei Classen, harzige und harzlose. Die letzteren werden Glanzkohlen, Anthracite genannt und gehören dem Uebergangsgebirge an, die ersteren heißen Schwarzkohlen und Braunkohlen, von denen jene in den secundären Sand- und Kalksteingebirgen, diese in den tertiären Formationen gefunden werden. Gewöhnlich versteht man unter Steinkohlen überhaupt nur die Schwarzkohlen.

Die Wärmemenge, welche diese Brennmaterialien liefern, ist unter sonst gleichen Umständen sehr verschieden. Man bestimmt dieselbe auf verschiedene Weise. Die Methode von Berthier beruht auf der Anwendung der Bleiglätte, mit welcher man das zu untersuchende Brennmaterial erhitzt, wobei man aus dem erhaltenen regulinischen Blei einen Schluß auf den Werth des Brennmaterials zieht. Es gründet sich dies Verfahren auf die Annahme, daß die aus verschiedenen Brennstoffen sich entwickelnden Wärmemengen unter sich genau in demselben Verhältnisse stehen wie die Sauerstoffmengen, welche die Brennmaterialien beim Verbrennen absorbiren, und daß diese Sauerstoffmengen proportional sind dem regulinischen Blei, welches sich im vorliegenden Falle bildet. Reine Kohle giebt z. B. mit Bleiglätte erhitzt das 34fache ihres Gewichtes und Wasserstoff das 103,7fache seines Gewichtes an regulinischem Blei. Da nun nach Despretz ein Gewichtstheil Kohle das 7815fache Gewicht Wasser um 1° C. erhöht, so entspricht, weil die reine Kohle 34 Theile Blei giebt, jeder durch irgend ein Brennmaterial reducirte Theil Blei 7815 : 34 = 230 Wärmeeinheiten.

Will man nun das Heizungsvermögen eines Brennmaterials nach dieser Methode bestimmen, so erhitzt man dasselbe in getrocknetem und fein gepulvertem Zustande mit der 23fachen Menge Bleiglätte, oder besser noch mit basischem Chlorblei, bis aus der geschmolzenen Masse sich keine Gasblasen mehr entwickeln. Den hierbei benutzten Tiegel zerschlägt man nach dem Erkalten, trennt das regulinische Blei durch Hämmern von dem anhängenden Bleioxyde und wiegt.

Die Berthier'sche Methode kann bezüglich der Heizkraft keine genauen Resultate geben; man erfährt durch sie eigentlich nur die zur Verbrennung nöthige Sauerstoffmenge. Die Annahme, daß gleiche Mengen Sauerstoff gleiche Wärmemengen entwickeln, mögen sich jene nun mit Kohlenstoff oder Wasserstoff verbinden, ist neueren Versuchen zufolge nicht richtig.

Die Gesammtmenge der bei einer vollständigen Verbrennung entwickelten Wärme ist aber für einen gegebenen brennbaren Körper stets dieselbe, gleichviel ob die Verbrennung rasch oder langsam, in atmosphärischer Luft oder Sauerstoffgas geschieht. Die Art der Heizung bestimmt nur die Größe des nutzbaren Theils der gesammten Wärmemenge.

Die ganze entwickelte Wärmemenge läßt sich aus der chemischen Zusammensetzung der Brennmaterialien berechnen, wobei jedoch die unrichtige Annahme gemacht wird, daß bei der Verbrennung eines Körpers die Bestandtheile desselben eben so viel Wärme entwickeln, als sie gegeben haben würden, wenn sie im freien Zustande verbrannt worden wären. Die Rechnung liefert unter dieser Voraussetzung stets zu hohe Werthe.

Die Versuche mittelst des Calorimeters (s. d. Art. Bd. I. S. 927) würden für die gesammte entwickelte Wärmemenge die genauesten Resultate liefern, wenn nicht ihre Ausführung mit Schwierigkeiten verbunden wäre. Man bestimmt hier die Temperaturerhöhung, welche eine gegebene Wassermenge durch die Verbrennung einer gewogenen Quantität des Brennmaterials erfährt.

Für die Praxis von besonderer Wichtigkeit sind solche Versuche, welche denjenigen Theil der Gesammtwärmemenge bestimmen, welcher sich in gut eingerichteten Feuerungsanlagen mittelst eines gewissen Brennmaterials nutzbar machen läßt. Dieser nutzbare Wärmeeffect läßt sich aus der Erwärmung der Luft in einem gut verschlossenen Zimmer bestimmen, indem man gegebene Mengen verschiedener Materialien in einem Ofen verbrennt, oder zweckmäßiger noch aus der Dampfmenge, welche durch eine Gewichts- oder Maßeinheit der verschiedenen Brennstoffe erzeugt werden kann. Da auf die nach dieser Methode erhaltenen Resultate die jedesmalige Ofeneinrichtung von Einfluß sein muß, so kommt es darauf an, dieselbe so zu wählen und den Gang des Versuches so zu leiten, daß die Verbrennung vollständig geschieht, und die unvermeidlichen Wärmeverluste in allen Fällen auf ihr Minimum beschränkt werden. Johnson hat dieses Verfahren zur Ermittelung der Heizkraft einer großen Anzahl nordamerikanischer Kohlen angewendet, und dasselbe ist auch bei den neueren umfassenden Versuchen über die Heizkraft der wichtigeren Brennstoffe des preußischen Staates zu Grunde gelegt worden. Dasselbe besteht also im Wesentlichen darin, daß man eine gewogene Menge des zu prüfenden Brennstoffes unter einem gut eingerichteten Dampfkessel verbrennt und das Gewicht des Wassers bestimmt, das dadurch in Dampf verwandelt worden ist *).

Nach der Methode von Berthier hat Winkler **) den relativen Werth verschiedener Brennhölzer und Holzkohlen bestimmt.

Holzart	Blei wird reducirt von: 1 Gew. Theil	Blei wird reducirt von: 1 Volumen	1 Gewichtstheil erwärmt um 1° C. Gewichtstheile Wasser
Eiche	14,05	10116,00	3231
Esche	14,96	10144,56	3441
Ahorn	14,16	9147,36	3257
Buche	14,00	8498,00	3220
Birke	14,08	8970,16	3238
Ulme	14,50	9381,50	3335
Pappel	13,04	6415,68	2999
Linde	14,48	5532,72	3330
Weide	13,10	6536,90	3013
Tanne	13,86	6666,66	3188
Fichte	13,88	5954,52	3192
Kiefer	13,27	6336,90	3052

*) Vergl. W. Brix: die Heizkraft der wichtigeren Brennstoffe des preuß. Staates. Berlin 1853.

**) Journ. für praktische Chemie von Erdmann und Marchand. Bd. XVII. S. 65—90.

Hieraus folgt, daß, mit Ausnahme des Lindenholzes, die weichen Hölzer dem Gewichte nach eine etwas geringere Heizkraft besitzen, als die harten. Dem Volumen nach stehen die weichen Hölzer den harten weit nach und Lindenholz nimmt sogar die letzte Stelle ein. Aus der letzten Rubrik läßt sich einfach berechnen, wie viel Klaftern des einen Holzes einer bestimmten Anzahl Klaftern eines anderen in Beziehung auf das Heizvermögen entsprechen; z. B. 100 Klaftern Buchenholz werden dasselbe leisten wie 142,7 Klaftern Fichtenholz, weil

$$595452 : 849800 = 100 : 142,7.$$

So werden 100 Klaftern Fichtenholz im Durchschnitt ersetzt durch:

59	Klaftern	Eichen- oder Eschenholz
$63\frac{1}{2}$	"	Ulmenholz
65	"	Ahornholz
$66\frac{1}{2}$	"	Birkenholz
70	"	Buchenholz
89	"	Tannenholz
91	"	Weidenholz
92	"	Pappelnholz
94	"	Kiefernholz
107	"	Lindenholz

und durchschnittlich 100 Klaftern Nadelholz durch 64,7 Klaftern hartes Laubholz oder 100 Klaftern hartes Laubholz durch 154,4 Klaftern Nadelholz. Bei geflößtem Holze ändern sich diese Verhältnisse noch zum Nachtheile des weichen Holzes.

Nach Péclet *) stellt sich das Heizvermögen von einem Gewichtstheile verschiedener Hölzer nach Rumford's Beobachtung folgenderweise, wobei als Wärmeeinheit die Wärmemenge genommen ist, durch welche 1 Gewichtstheil Wasser um 1° C. erhöht wird.

Holzart	Zustand des Holzes	Wärme-einheiten
Linde	trocknes Tischlerholz	3460
"	in einem Ofen scharf getrocknet	3960
Buche	trocknes Tischlerholz	3375
"	in einem Ofen scharf getrocknet	3630
Ulme	trocknes Tischlerholz	3037
"	in einem Ofen scharf getrocknet	3450
Eiche	Späne mittlerer Größe von gewöhnlichem Holze	2550
"	kleine gut lufttrockne Späne	2925
"	ausgetrocknet	3300
Esche	trocknes Tischlerholz	3075
"	in einem Ofen scharf getrocknet	3525
Ahorn	desgl.	3600

*) A. a. O. S. 30.

Holzart	Zustand des Holzes	Wärme-einheiten
Tanne	trocknes Tischlerholz	3037
=	gut lufttrockne Späne	3375
=	in einem Ofen scharf getrocknet	3750
Pappel	trocknes Tischlerholz	3460
=	in einem Ofen scharf getrocknet	3712
Hainbuche . . .	trocknes Tischlerholz	3187

Nach Prechtl *) vermag ein Pfund mit künstlicher Wärme getrocknetes Holz beim Verbrennen 35 Pfund Wasser und 1 Pfund gewöhnliches 20 bis 25 Proc. wasserhaltendes Brennholz 26 Pfunde Wasser von 0° bis 100° C. zu erhitzen; ersteres verdampft 6,36 Pfunde 100° C. heißes Wasser, letzteres 4,72 Pfunde; zum Verbrennen des ersten sind 5,96 Pfunde atmosphärischer Luft von 0° und für das letztere 4,47 Pfunde derselben nöthig; es erhöht 1 Pfund Holz die Temperatur von 82405 Cubikfuß Luft oder von 7495 Pfund um 1° C. oder es versetzt 1030 Cubikfuß Luft in eine um 80° C. höhere Temperatur.

Der Aschengehalt der Hölzer beträgt nach dem Gewichte für Eichen-, Fichten- und Tannenholz 0,40 Proc., für Buchenholz 0,58, für Weinreben 3,40, für gemeine Distel 4,00, für gemeine Nessel 10,00.

Beim Verbrennen des Holzes hindert außer der Feuchtigkeit die Massigkeit des Holzes in Bezug zur Größe des Feuers die vollständige Erzielung des größten Effectes. Je kleiner der Umfang eines Feuers ist, um so kleiner sind die anzulegenden Scheite zu machen, damit nicht ein großer Theil des nutzbaren Materiales unbenutzt mit dem Rauche verjagt werde. Mit der Verkleinerung steht jedoch ein schnelleres Verzehren in Verbindung, worauf man bei Beurtheilung des Zweckes Rücksicht zu nehmen hat. Im Allgemeinen verbrennen zuerst die flüchtigen Bestandtheile und Brennstoffe, welche bei sehr öl- und harzreichen Holzsorten oft mit Gewalt und Lärm in augenblicklich zu Flamme auflodernden Gasen aus dem Innern der angebrannten Hölzer hervorbrechen. Langsamer verzehren sich die festeren Theile durch Umänderung in Kohle und Auflösung derselben zu Kohlenoxydgas, welches theils unmittelbar von der Oberfläche der Hölzer aus wegbrennt, theils an der Oberfläche glühender Kohlen allmälig sich erzeugend die Gluth daselbst erhält. Ein großer Theil der Flamme und namentlich der hellste Theil derselben besteht aus verbrennendem Kohlenwasserstoffgase, welches durch die Zerlegung von Wasser- und Harztheilen des Holzes vermöge des eingeleiteten Verbrennungsprocesses erzeugt wird (vergl. Artikel Flamme). Je lodernder eine Holzflamme getrieben wird, um so mehr verbrennbare Gastheile werden unverbrannt in die Höhe gehen. Große Stücke verbrennen im Ganzen genommen in Bezug zu ihrer Masse mit weniger Feuer, als kleinere und Späne, weil während der Verbrennung von größeren Stücken wegen der längeren Dauer ihres Brennens die schnell in Gas sich umändernden Theile des Holzes aus dem Innern desselben eher hervorgetrieben werden, als das ganze Holzstück ver-

*) A. a. O. S. 101.

brennt. Aus diesem Grunde hinterlassen dieselben sehr bald, wenn Gas zur Unterhaltung der Flamme nicht mehr producirt werden kann, glühende Kohlen, welche selbst mit Rückstand eines bedeutenden Volumens reiner Kohle verlöschen werden. Trockne Späne dagegen und dürres Reisig werden ganz zu Asche verbrennen können.

Wird von dem Brennmaterial zu viel auf einmal benutzt, so tritt beim Brennen derselbe Umstand ein, wie bei Anwendung zu großer Stücke; es schwelen die obersten Hölzer zu viel, so daß zwar die Flamme vermehrt, den oben brennenden Hölzern aber die Fähigkeit genommen wird, zu ihrer gänzlichen Verzehrung das unter anderen Umständen zu Ermöglichende beizutragen. Zu viel Aufhäufung von Holz beim Feuerschüren bringt daher glühende Kohlen im Uebermaße hervor. Man legt jedoch in denjenigen Fällen, wenn man bei Holzfeuerung eine anfänglich große Hitze verlangt, zuerst gern viel Holz in den Feuerraum ein.

Dieses Verfahren hat demnach gleichsam Kohlenerzeugung zum Zwecke. Es ist vortheilhafter in Bezug auf die Kosten gegen wirkliche Kohlenheizung, weil vom Holze zugleich der flammengebende Theil in Benutzung gebracht wird.

Holzkohlen haben ein größeres Heizvermögen als die Hölzer, und stehen außerdem in einem anderen Verhältnisse als diese, weil der Einfluß der Saftsubstanz wegfällt. Aus Winkler's Untersuchungen ergiebt sich folgendes Wirkungsverhältniß:

Art der Kohle	100 Gewichtstheile Kohle enthielten		Von 1 Gewichtstheil werden reducirt	1 Gewichtstheil erwärmt um 1° C.
	Kohlenstoff	Asche	Gewichtsth. Blei	Gewth. Wasser
Eichen . . .	99,25	0,75	33,74	7780
Eschen . . .	97,73	2,27	33,23	7643
Ahorn . . .	97,73	2,27	33,23	7643
Buchen . . .	98,75	1,25	33,57	7721
Birken . . .	99,20	0,80	33,71	7753
Ulmen . . .	97,83	2,17	33,26	7650
Pappel . . .	98,70	1,30	33,56	7719
Linden . . .	96,45	3,55	32,79	7542
Weiden . . .	98,50	1,50	33,49	7703
Tannen . . .	98,56	1,44	33,51	7707
Fichten . . .	98,62	1,38	33,53	7712
Kiefern . . .	98,89	1,11	33,62	7733

Wir sehen hieraus, daß Lindenkohle das geringste Heizvermögen besitzt, ferner, daß im Durchschnitt dasselbe für Kohlen von harten Hölzern etwas geringer ist bei gleichem absoluten Gewichte als für Kohlen von weichen. Vergleichen wir überdies diese Resultate mit den oben angeführten für dieselben Holzsorten, so ergiebt sich, daß durchschnittlich 1 Pfund Kohle 2,43 Mal mehr leistet als ein Pfund ganz lufttrocknes Holz.

Nach Prechtl erwärmt ein Pfund Holzkohlen 73 Pfund Wasser von 0° bis auf 100° C.; ändert 13,27 Pfund Wasser von 100° C. in Dampf um und verbraucht zum Verbrennen (im Minimum) 11,46 Pfund atmosphärischer Luft von 0°.

Anwendung von Kohle zur Feuerung ist da empfehlenswerth, wo eine gleichmäßige Hitze erregt werden soll; wo die zu erhitzende Masse unmittelbar mit der Kohle in Berührung gesetzt werden kann; wo die Heizungs- und Erwärmungsräume so eingerichtet sind, daß dieselben eine längere Zeit hindurch die Hitze zurückzuhalten vermögen. Harte Kohlen geben bei gleich schneller Luftzuführung zum Verbrennen größere Hitze als weiche, weil dieselben mehr Masse enthalten bei gleich viel zum Verbrennen aufgehäuftem Maße. Nach Winkler wendet man weiche Kohlen am liebsten an beim Abwärmen der Oefen, bei der Reduction der Glätte, bei gutflüssigen, aber specifisch leichten Erzbeschickungen, bei sehr staubigen Erzen, beim Verschmelzen der Zinnerze in kleinen Schächten, beim Kupfergaaren, beim Eisenfrischen und beim Silberfeinbrennen vor dem Gebläse; harte Kohlen hingegen beim Hohofenprocesse, überhaupt wo man die Erzsätze eher im Ofen aufzuhalten, als schnell durchzujagen sucht, und wo nur durch eine dauernde und starke Hitze die Verschlackung der Nebenbestandtheile und das procentische Metallausbringen möglichst vollständig geschehen kann.

Torf ist in seiner chemischen Zusammensetzung sehr verschieden, eben so wie in seinem äußeren Verhalten. Nach Abzug der Asche, welche 1 bis 33 Proc. beträgt, fand Regnault in drei Torfsorten

57,03	Kohlenstoff,	5,63	Wasserstoff und	31,76	Sauerstoff,	5,58	Asche.
58,09	"	5,93	" "	31,37	"	4,61	"
57,79	"	6,11	" "	30,77	"	5,33	"

und hieraus berechnet Péclet *), indem er für Kohlenstoff 7800 und für Wasserstoff 23800 Wärmeeinheiten annimmt, die Heizkraft dieser Sorten zu 4849, 5013 und 5051, oder, indem er nach Dulong für den Kohlenstoff 7170 und für den Wasserstoff 34742 annimmt, 4673, 4873 und 4943.

Die Heizkraft des Torfes übertrifft mithin die des Holzes, wie eine Vergleichung mit den für Holz oben nach Péclet angegebenen Resultaten herausstellt. Wegen des Wassergehaltes des Torfes dürfte man jedoch die Heizkraft desselben der des Holzes nur gleich zu setzen befugt sein.

Nach Prechtl vermag ein Pfund guter, nicht zu erdiger Torf 30 Pfund Wasser von 0° bis 100° C. zu erhitzen und 5,45 Pfund Wasser von 100° C. in Dampf zu verwandeln, wobei derselbe ungefähr 4,60 Pfund atmosphärischer Luft von 0° verbraucht. Ein Pfund Torf wird 41200 Cubikfuß oder 3747 Pfund Luft um 1° C. erwärmen. Auch aus diesen Resultaten in Vergleich mit denjenigen nach Prechtl's Angabe für gewöhnliches Holz stellt sich die Heizkraft zu Gunsten des Torfes.

Torfkohle, durch Verkohlung von Torf in verschlossenen Räumen erhalten, wird eine Heizkraft besitzen, welche dem Gehalte an reiner Kohle entspricht. Péclet setzt dieselbe im Durchschnitt 5800 Wärmeeinheiten gleich. Nach Prechtl vermag 1 Pfund Torfkohle 64,00 Pfund Wasser von 0° auf 100° C.

*) A. a. O. S. 40.

zu erhitzen und 11,63 Pfd. Wasser von 100⁰ C. zu verdampfen, wobei 9,86 Pfd. atmosphärischer Luft von 0⁰ verbraucht werden.

Steinkohlen. Beide Hauptarten unterscheiden sich chemisch durch den Gehalt von Wasserstoff, welchen die Schwarz- und Braunkohlen fast ausschließlich besitzen.

Beide Kohlenarten geben im Ganzen genommen und im Verhältniß zur Gluth wenig Flamme. Einige seltene Varietäten der harzigen Steinkohlen, Kandlekohlen genannt, verbrennen jedoch ohne Rückstand mit sehr heller Flamme. Schwieriger als harzige Steinkohlen sind harzlose verbrennbar. Letztere besitzen fast gar kein Bitumen. Sind diese sehr mit Erden gemengt, was überhaupt ein Uebelstand der Steinkohlen ist, und bei beiden Abtheilungen in ihrer Wirksamkeit und ihrer Beschaffenheit Veränderlichkeiten hervorbringt, so sind sie nur unter erhöhterem, anfachendem Luftzuge verbrennbar zu machen. Harzige Steinkohlen und zwar die Abtheilung der Schwarzkohlen schmelzen leichter zusammen als harzlose; diese jedoch noch etwas mehr, als die Abtheilung der Braunkohlen unter den harzigen Steinkohlen.

Der Kohlengehalt dieser Substanzen ist sehr verschieden. Nach Karsten enthält der wirkliche Anthracit außer zufälligen Gemengtheilen nur Kohlenstoff. Nach Péclet (a. a. O. S. 44) enthält der Anthracit von Mayenne:

> 91,98 Kohlenstoff; 3,92 Wasserstoff; 3,16 Sauerstoff und Stickstoff, und giebt 0,94 Asche. Die Heizkraft wird zu 7614 bis 7999 Wärmeeinheiten berechnet.

Die harzigen Steinkohlen sind verschieden benannt; einige Benennungen beziehen sich auf die Structur, andere auf andere Beschaffenheiten. Die kohlenreichsten Substanzen finden sich unter der Blätterkohle, von welcher einige Varietäten durch Naturrevolutionen in ihrer Beschaffenheit geändert zu sein scheinen, so daß sie zum Theil in Anthracit übergehen. Man kennt Blätterkohlen von 84 bis 96 Theilen Kohlenstoff, 14 bis 3 Theilen Sauerstoff und 3,3 bis 0,5 Wasserstoffgehalt mit $^{2}/_{3}$ bis 2 Theilen von hundert beigemengten erdigen Theilen. Pechkohlen enthielten 81,3 Kohlenstoff, 14,5 Sauerstoff, 3,3 Wasserstoff; Schieferkohlen 78 bis 79 Theile Kohlenstoff, 20 bis 17 Th. Sauerstoff, $2^{2}/_{3}$ bis $3^{1}/_{3}$ Th. Wasserstoff mit einigen Procenten beigemengter erdiger Theile. (Schieferkohlen bestehen aus lagenweise abwechselnden harzigen Steinkohlen von verschiedener Beschaffenheit. Dieselben sind daher von dem veränderlichsten Aeußeren; auch sind sie bei weitem die häufigsten. Die veränderliche Beschaffenheit derselben wird häufig vermehrt durch größere Beimengung von erdigen, vorzüglich thonigen Stoffen in einzelnen ihrer lagerartigen Schichten. Dieselben gehen dadurch zuweilen in wirklichen Stein über, welcher eben nur durch schwaches Glühen seinen Kohlengehalt anzeigt.) Kandlekohle besitzt 72 bis 74 Th. Kohlenstoff, 21 bis $19^{2}/_{3}$ Th. Sauerstoff und 4 bis $5^{1}/_{2}$ Th. Wasserstoff. Grobkohle ist eine kohlenreiche Steinkohle.

In chemisch-technischer Beziehung unterscheidet Karsten *) 3 Arten Steinkohlen: Backkohle, beim Erhitzen erweichend und sich blähend; Sandkohle, zeigt Volumenverminderung und wird anstatt zu schmelzen pulverförmig, und

*) Wagner, chemische Technologie. Leipzig 1853. 2. Aufl.

Sinterkohle, beim Erhitzen zusammenfallend und zusammensinkend. Den Bestandtheilen nach verhalten sich dieselben folgenderweise:

Sandkohle 73,88 Kohlenstoff, 2,76 Wasserstoff, 20,47 Sauerstoff u. 2,89 Asche.
Sinterkohle 78,39 „ 3,21 „ 17,77 „ „ 0,62 „
Backkohle 87,85 „ 4,90 „ 4,29 „ „ 3,00 „

L. Brückner fand bei der Analyse einiger Zwickauer Steinkohlen folgende Resultate:

	Rußkohle vom Bürgerschachte	Pechkohle vom Bürgerschachte	Pechkohle vom Auroraschachte
Kohlenstoff . . .	82,10	80,00	73,85
Wasserstoff . . .	5,34	5,50	4,70
Stickstoff	0,65	0,88	0,60
Schwefel	0,37	0,40	0,48
Asche	1,09	1,68	6,27
Sauerstoff	10,45	11,54	14,10

Die Heizkraft der Schwarzkohlen berechnet Péclet auf 5297 bis 7990 Wärmeeinheiten. Nach auf der Saline Wimpfen, bei Heilbronn, gemachten Erfahrungen leisten 1450 Pfund Saarbrücker Steinkohlen soviel, als 2200 Pfund Holz.

Braunkohlen führen 75 bis 80 Proc. Kohlenstoff, 26²/₃ Sauerstoff und 4¹/₃ Wasserstoff. Regnault *) fand bei mehreren Sorten vollkommener Braunkohle Folgendes:

Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff und Stickstoff	Asche	Wärmeeinheiten
70,49	5,59	18,93	4,99	6207 bis 6242
63,88	4,58	18,11	13,43	5437 „ 5552
71,71	4,85	21,67	1,77	5923 „ 6125
70,02	5,20	21,77	3,01	5921 „ 6073

Die Wärmeeinheiten hat Péclet unter den bereits oben angegebenen Annahmen berechnet.

Unter den Braunkohlen sind Moorkohle und muschelige Braunkohle mit die empfehlungswerthesten zur Feuerung. Weniger sind es Erdkohle, welche wie das Kohlenklein in Ziegel zu ballen ist, Papierkohle und Alaunkohle.

Daß die Steinkohlen so verschiedene Heizkraft besitzen, kann uns bei dem verschiedenen Kohlenstoffgehalte nicht Wunder nehmen. Genaue Bestimmungen der verschiedenen Kohlenarten in Betreff ihres Heizvermögens sind noch nicht in ganz hinreichender Menge angestellt. Wir geben daher nur noch eine Angabe nach

*) Péclet, a. a. O. S. 44.

Prechtl, nämlich daß 1 Pfund Schieferkohle brauchbarer Beschaffenheit 60 Pfund Wasser von 0° bis 100° C. zu erhitzen vermag und 10 Pfund Wasser von 100° C. verdampft, wobei $9^1/_3$ Pfund atmosphärische Luft von 0° verzehrt werden. Ein Pfund gute Steinkohle erhitzt ferner 164810 Cubikfuß oder 14987 Pfund Luft um 1° C.; schlechtere bewirken dasselbe nur bei 107123 Cubikfuß oder 9700 Pfund Luft.

Die Wärmestrahlung der Steinkohlengluth ist größer, als die des Flammenfeuers und die der Holzkohlengluth, weil beim Verbrennen der Steinkohlen lebhafterer Luftwechsel stattfinden muß, als bei Holzkohlen und Holz, und weil derselbe ein bei weitem dichteres Material antrifft. Sie verbrennen daher dem Volumen nach zwar langsamer, der Masse nach aber schneller als Holzkohlen, d. h. in gleichen Zeiten werden bei derselben Gluthhöhe mehr Theile vom Kohlenstoffe der Steinkohlen verbrannt werden müssen, als vom Kohlenstoffe der Holzkohlen. Schwarzkohlen, welche die Eigenschaft besitzen zu schmelzen oder zu backen, wie man technisch sagt, müssen auf Rosten verbrannt werden, und die daselbst zusammensinternde Decke muß, um Luftzug in die brennende Masse zu bringen, häufig aufgebrochen werden.

Koaks, durch die Verkohlung der Steinkohlen gewonnene Kohlen, sind leichter als die Steinkohlen und brennen schneller und mit viel geringerem Luftzuge als diese selbst brauchen, aber dennoch mit gleicher Wärmestrahlung und Gluthaussendung. Der Wirkungsgrad ihrer Heizkraft verhält sich zu demjenigen der Steinkohlen wie 75 : 69 und beträgt ungefähr $^9/_{10}$ desjenigen, was durch Holzkohlen geleistet wird. Péclet nimmt die Heizkraft zu 6000 Wärmeeinheiten an. Die Aschenmenge steigt auf 15 bis 18 Proc.

Diesen gebräuchlichsten Brennmaterialien fügen wir noch die Heizkraft einiger anderer Stoffe hinzu nach Péclet.

Brennstoffe	1 Kilogramm erwärmt um 1° C. Kilogramme Wasser
Kohlenwasserstoffgas . .	6375 Dalton
Kohlenoxydgas	1857 Dalton
Wasserstoffgas	23400 Laplace 22115 Clément 23640 Despretz
Baumöl	9044 Rumford 11196 Lavoisier
Rüböl, gereinigt . . .	9307 Rumford
Talg	8639 Rumford 7186 Laplace
Weißes Wachs . . .	9679 Rumford 10500 Laplace
Alkohol spec. Gew. 0,8176	6195 Rumford
Phosphor	7500 Laplace
Terpentinöl	4500 Dalton.

Nach Redtenbacher *) findet man die Heizkraft w eines Brennstoffes, wenn K, H, O in Kilogramm die Mengen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bedeuten, welche in einem Kilogramm des Brennstoffs enthalten sind, durch folgende Formel:

$$w = 7050\,K + 22125\,H - 2266\,O$$

und die zum vollkommenen Verbrennen eines Kilogr. erforderliche Luftmenge **)

$$L = 12{,}645\,K + 38{,}24\,H - 4{,}755\,O.$$

Eins der bedeutendsten Werke über den hier behandelten Gegenstand ist das schon citirte von Brix: Untersuchungen über die Heizkraft der wichtigsten Brennstoffe des preußischen Staates; s. auch d. Art. Verbrennung.

Daß die Heizkraft der verschiedenen Brennmaterialien so verschieden ausfällt, hat seinen Grund besonders darin, daß die verschiedenen Brennmaterialien bei gleichem Gewichte ungleiche Mengen Brennstoff, d. h. Stoff, welcher sich mit Sauerstoff verbindet, enthalten; außerdem folgt noch aus der größeren oder geringeren Verwandtschaft des verbrennenden Körpers mit dem Sauerstoffe, oder aus dem Verbrauche einer größeren oder geringeren Menge Sauerstoffs in derselben Zeit, eine größere oder geringere Intensität der Wärmeentwickelung.

Die bei den verschiedenen Brennmaterialien angegebenen Heizkräfte stellen das Maximum derselben dar. Bei dem Verbrauche des Brennmaterials kommt es daher darauf an, sich diesem Maximum möglichst zu nähern, d. h. die größtmögliche Wärme von der kleinsten Masse an Brennmaterial zur Benutzung zu gewinnen. Es beruht hierauf die Holzsparungskunst oder Sparung von Brennmaterial, worüber weitläufige Untersuchungen geführt worden sind.

Die Heizkraft vollständig zu benutzen, scheitert an manchen Hindernissen, die entweder einen Verlust an Brennmaterial oder an erzeugter Wärme bedingen. Unvollkommene Zersetzung des Brennmaterials gehört hierher. Diese wird eintreten, wenn nicht hinlängliche Luft zum Feuerorte hinzugeführt wird, einmal um den Zersetzungsproceß durch Zuführung des in der Atmosphäre enthaltenen Sauerstoffgases zu unterhalten, und ein anderes Mal um die Unterhaltung des Zersetzungsprocesses durch lebhaftere Zersetzung des Brennmaterials zu fördern. Zweitens gehört hierher, wenn die erregte Wärme nicht in dem Maße zurückgehalten und auf den Ort der Verwendung geführt wird, als wohl technisch zu ermöglichen wäre. Dies wird geschehen, wenn von der Zuführungsluft Wärmetheile und unzersetzte Rauchtheile zu schnell von den Punkten entfernt werden, an welche die Mittheilung geschehen soll, und ferner wenn die erwärmte Luft selbst unzeitig von dem Punkte des Entstehens und des Gebrauches weggeleitet wird.

Man sieht hieraus, daß dieselben Ursachen, welche der zweckmäßigen Verbrennung nützlich sind, eben so auch wieder hinderlich werden können, und sogar hinderlich werden müssen. Bei jeder Heizung wird folglich in Anschlag zu bringen sein, daß ein Theil der erregten Hitze nicht angewendet werden könne und verloren gehe. Die Größe dieses Verlustes zu verringern ist die Absicht aller Ersparungen in der Holzsparkunst. Bei den verschiedenen Heizungsarten wird sich Gelegenheit

---

*) Resultate für den Maschinenbau. Mannheim 1848. §. 220. S. 177.

**) A. a. O. §. 221. S. 178.

finden, die hierauf bezüglichen Punkte zu berühren, wir begnügen uns daher hier nur einige allgemeine Vorschriften anzuführen.

Ist eine schnelle Erhitzung eines Gegenstandes oder eines Raumes nöthig, so wird weiches und harziges Holz, welches, sich schnell entzündend, lodernde Flamme giebt und viele auf einmal sich entbindende Wärme frei macht, vortheilhafter sein, als hartes Holz oder Kohlen, die sich langsamer verzehren. — Ist das Gefäß der Heizung sehr groß, so werden kleine öfters wiederholte Feuer bei weitem kostbarer werden, als ein großes dem Inhalte des Feuerraumes angemessen ausgedehntes Flammenfeuer. Dasselbe wird der Fall sein bei dicken oder die Wärme schlecht leitenden Wänden desselben Raumes. — In manchen Fällen wird ein Rost unter dem Flammenfeuer vortheilhaft sein, wenn das Heizungsgefäß z. B. in einem Locale sich befindet, welches gegen überflüssigen Zudrang der Luft geschützt ist, indem alsdann eine Erleichterung des Luftzutrittes zur Flamme zu Wege gebracht wird, welche bekanntlich die schnellere Verzehrung des entweichenden Rauches und der Gase veranlaßt.

Ueber die Gesetze der Wärmemittheilung, sowohl der Leitung als Strahlung, die für die zweckmäßige Benutzung der Wärme beim Heizen besondere Beachtung verdienen, verweisen wir auf den Art. Wärme.

C. Heizungsanlagen.

Alle Arten der Heizungsanlagen hier zu besprechen, würde zu weit führen; wir schließen daher alle diejenigen aus, bei welchen durch Gebläse (s. d. Art.) ein künstlicher Luftzug herbeigeführt wird, und werden daher nur die Feueranlage bei Kesselfeuerungen, da im Art. Dampfmaschine Bd. II. S. 321 u. 335 auf den Art. Heizung Bezug genommen ist, und die Heizung der Wohnungen in Betracht ziehen. Wie verschiedenartig und mannichfach die Heizungszwecke sind, ergiebt folgende Zusammenstellung, die indessen nicht erschöpfend ist: Zimmerheizung, Gewächshausheizung, Trocknenstubenheizung, Darrstättenheizung, Abkühlungsheizung, Wärmraumheizung, Röststättheizung, Schmelzofenheizung, Backofenheizung, Destillir- und Brennofenheizung, Koch-, Brat- und Siedstättheizung, Verkohlungsheizung 2c.

So verschieden die Heizungsanlagen sind, stets wird man drei Theile: Feuerherd, Feuerraum und Schornstein zu unterscheiden haben. Bei dem gewöhnlichen Küchenherde, eben so bei Oefen zum Schmelzen gewisser Metalle fallen Herd und Feuerraum in Eins zusammen, und der Schornstein fehlt nur bei den Feuerungsanlagen zum Theil, bei welchen durch eine mechanische Wirkung die Erneuerung der Luft bewirkt wird, also bei Schachtöfen und Herden mit Gebläsen.

Der Herd oder Feuerherd ist der Ort, in welchem durch das Verbrennen irgend eines Brennmaterials zu irgend einem Zwecke ein beliebiger Hitzegrad hervorgebracht wird. Der Feuerraum ist der Raum, in welchem die erzeugte Wärme vorzugsweise und zunächst ihre Wirkung äußern und ihre Benutzung finden soll. Der Schornstein oder die Esse ist ein Kanal, durch welchen die Luft abgeführt werden soll, welche bereits zur Verbrennung gedient hat, und außerdem soll durch denselben das Zuströmen neuer Luft zum Feuer, also der Zug, befördert werden.

1. Herd und Feuerraum.

Die ersten Herde bestanden nur in einem offenen Raume, auf welchen das Brennmaterial gelegt wurde; wegen des bedeutenden Wärmeverlustes kam man aber gewiß bald darauf den Raum abzusperren und nur mit einer einzigen Oeffnung zum Eintritte der Luft und zum Einbringen des Brennmaterials zu versehen. Erst später, wahrscheinlich durch die Benutzung der Steinkohlen, scheinen die Roste erfunden worden zu sein. Die Verhältnisse des Herdes und des Feuerraums zu studiren, dazu drängte die immer mehr um sich greifende Benutzung der Dampfkraft. Die Kesselheizung kann daher in dieser Beziehung als Muster gelten.

Kesselheizung.

Péclet unterscheidet bei der Kesselheizung: 1) Herde mit aufwärtsgehendem Luftzuge, 2) Herde mit niederwärtsgehendem Luftzuge, 3) Innere Herde, 4) Rauchverzehrende Herde, 5) Herde mit Einführung von Dampf oder Luft, 6) Herde mit trocknen Steinkohlen und mit Anthracit zu feuern, 7) Herde mit Luftströmen von großer Geschwindigkeit, 8) Herde mit warmer Luft, 9) Herde mit Theerfeuerung und 10) Gasherde. Auf das bereits mehrfach angeführte Hauptwerk hinweisend, von welchem auch eine deutsche Bearbeitung erschienen ist *), werden wir hier auf das Wesentlichste uns beschränken können.

Da bei der Kesselheizung eine intensive Erhitzung erzielt werden soll, so ist durchaus ein Rost und Aschenfall erforderlich, weil sonst die nur von den Seiten kommende Luft das Feuer nicht durchströmt und mithin keine vollkommene Verbrennung möglich wird, oder es müßte ein künstlicher Luftstrom mit großer Geschwindigkeit zur Anwendung kommen.

Zu dem Roste nimmt man Stäbe von Schmiede- oder Gußeisen und legt sie parallel neben einander. Ihre Dicke richtet sich nach der Länge, ihre Entfernung nach dem Brennmateriale, weil nur die Asche durchfallen darf. Bei großen Herden macht man die Stäbe 0,03^m (13,5‴) breit mit einem Zwischenraume von 0,01^m (4,5‴). Tredgold **) nimmt auf 1 Pferdekraft 9 Quadratdecimeter Rostoberfläche an und 5 Kilogr. (10,5 Pfd.) Steinkohlen in 1 Stunde. Große Roste scheinen der Brennmaterialersparung günstig, doch ist ihre Bedienung schwierig, und auch die Feuerung nicht gleichartig zu erhalten. Man wendet daher große Roste nur da an, wo wegen des Metalles, aus welchem der Kessel besteht, keine hohe Temperatur erzielt werden darf, und wo die Rückstände des Brennmaterials voluminös sind. Bei gewöhnlichen Herden und Steinkohlen beträgt die Brennmaterialschicht 0,05 bis 0,08^m (2—3″); bei Herden hingegen, auf welchen Brennmaterialien ohne Flamme verbrennen und deren Rost einem Verbrauche von 0,60 bis 0,75 Kilogr. auf 1 Quadratdecimeter auf die Stunde entspricht, wechselt die Schicht von 0,20 bis 0,30^m (8—12″). Bei Herden mit Holzfeuerung müssen die Roste kleiner sein, als bei Steinkohlen, da für Holz weniger Luft erforderlich ist zum Verbrennen, als für ein gleiches Gewicht Steinkohle, und

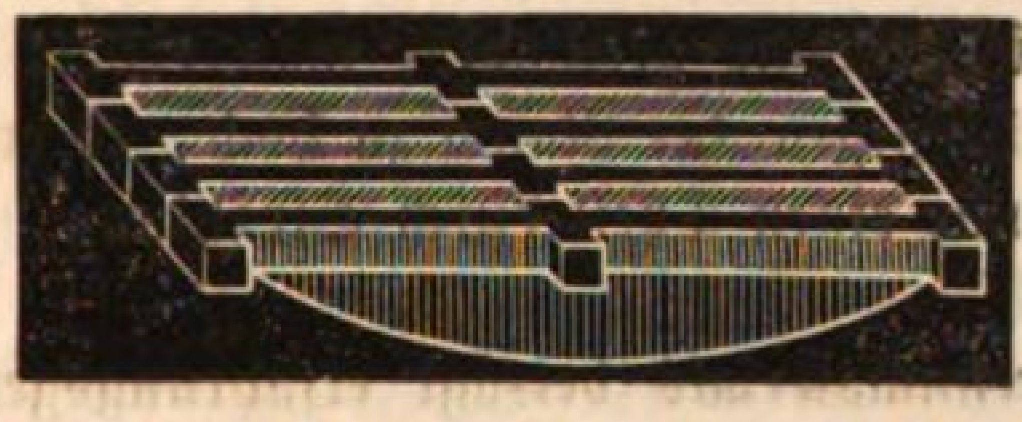
*) Péclet, Grundsätze der Feuerungskunde, deutsch bearbeitet von Dr. C. Hartmann. Weimar 1852.

**) Treatise on the steam engine.

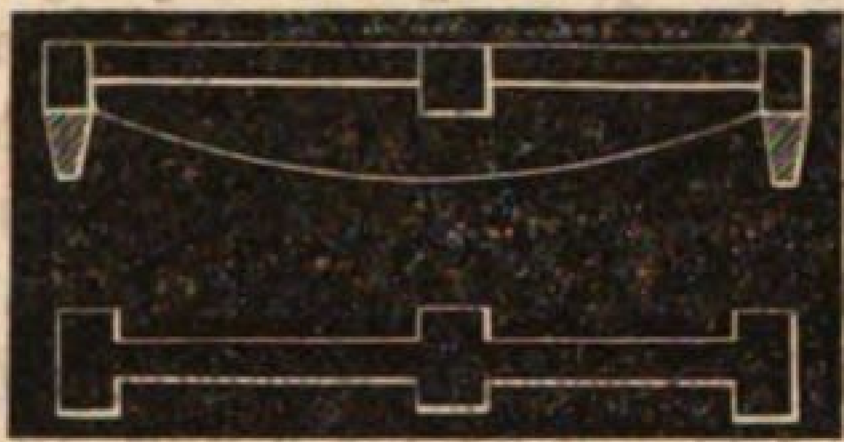
weil sich der Rost nicht verstopft. Nach Köchlin ist zur Verbrennung von 350 Kilogr. alten Eichenholzes in einer Stunde 1 Quadratmeter Rostfläche mit 1 Viertel für die Zwischenräume das beste Verhältniß. In der Regel sind die Roste für Holz 4 Mal kleiner, als für Steinkohlen.

Der Form nach sind die Roststäbe in der Mitte höher als an den Enden, damit sie sich nicht so leicht biegen, und von oben nach unten werden sie dünner, um das Durchfallen der Schlacken zu erleichtern, sie besser reinigen zu können und um der Luft den Zutritt bequemer zu gestatten. In der Mitte und an den Enden werden häufig Verstärkungen angebracht, wie die beistehenden Figuren I. und II. zeigen und auch an der Figur im Art. Dampfmaschine Bd. II. S. 337 zu

I.



II.



sehen ist. Mit den beiden Enden ruhen die Stäbe auf guß- oder schmiedeeisernen Balken. Die obere Breite variirt von 15 bis 30mm (6,5 — 13‴), und bei 1m Länge die Höhe in der Mitte von 0,08 bis 0,10m (3 — 3¾″). Gewöhnlich liegen die Stäbe horizontal (vergl. Figur in Bd. II. S. 336 E), aber oft giebt man ihnen auch eine Neigung nach hinten (Fig. Bd. II. S. 337). Das Letztere geschieht gewöhnlich bei langen Flammen. Auch hat man Roste von quadratischen Stäben, die einzeln hervorgezogen werden können, um die Schlacken zu entfernen. Endlich hat man die Roste auch so eingerichtet, daß sie im Ganzen beweglich sind, desgleichen hat man hohle Roststäbe angewendet, in denen die zum Verbrennen nöthige Luft erhitzt wird, oder durch welche Dämpfe strömen, die sich mit der das Feuer speisenden Luft vermischen.

Der Raum unter dem Roste ist der Aschenraum oder Aschenfall. Die Größe desselben, welche natürlich die des Rostes übertreffen muß, ist sonst willkürlich, doch ist es gut, wenn er nicht zu eng ist, damit die erforderliche Luftmenge zuströmen kann. Um die strahlende Wärme des Herdes von Oben nach Unten zu absorbiren, hat man in dem Aschenraume eine durch Zu- und Abfluß sich stets erneuernde Wasserschicht von etwa 1 Zoll Tiefe angebracht. Hierdurch werden die Roststäbe länger erhalten, da ihre Temperatur auf der Unterseite vermindert wird, ferner verursachen die aufsteigenden und zersetzten Wasserdämpfe nicht nur eine längere Flamme, sondern veranlassen selbst da, z. B. bei Steinkohlen, eine Flamme, wo sonst das Verbrennen ohne eine solche stattfinden würde.

Der Aschenraum muß durch eine Thür, die Aschenthür, verschließbar sein. Je größer dieselbe ist, desto besser ist es für den Luftzutritt. Bisweilen werden mehrere Thüren angebracht, namentlich wenn die Luft von außen zugeführt wird, weil man dann Rücksicht auf die Windrichtung nehmen kann. Zweckmäßig ist es, wenn diese Thüren luftdicht schließen, weil dann mit gleichzeitigem Schließen des Feuerregisters (vergl. Fig. in Bd. II. S. 336 M) bei ruhender Arbeit das Entweichen der warmen Luft und mithin eine sonst eintretende Abkühlung verhindert wird.

Bei dem Feuerraume, dem Raume zwischen der Herdsohle (dem Roste) und dem Kessel, kommt es darauf an, daß er hinlänglich geräumig ist zur Aufnahme des Brennmaterials und zur völligen Entwickelung des Feuers.

Da zur Erzielung eines gewissen Effectes in der Stunde eine bestimmte Menge Brennmaterial in derselben Zeit verbraucht werden muß, so ist also die Räumlichkeit von der Menge des Brennmaterials abhängig. Ist der Raum zu groß und wird doch nur die bestimmte Menge Brennmaterial aufgegeben, so ist die Schicht desselben zu dünn und ein Theil der Luft entweicht unbenutzt, auch wird man das Einfeuern zu schnell hinter einander wiederholen müssen; ist hingegen die Schicht zu dick, so geht die Luft nur schwierig hindurch, es entsteht viel Rauch, viel brennbares Gas entweicht und es bildet sich nur Kohlenoxyd, da die Wärme zur vollständigen Zersetzung des Brennmaterials nicht ausreichend ist.

Ist der Raum zu niedrig, so wird die Flamme gedämpft, man erhält viel Rauch und eine schlechte Verbrennung; ist hingegen der Raum zu hoch, so erhält der Kessel nicht die volle Wärme, sondern nur einen Theil durch Strahlung, und es findet also ein Wärmeverlust statt.

Die zweckmäßigste Schichthöhe des Brennmaterials beträgt erfahrungsgemäß bei Steinkohlen 0,05 bis 0,08^m (2 bis 3″), bei Koaks 0,2 bis 0,3^m (7$^1/_2$ bis 11$^1/_2$″); die Höhe des Feuerraumes bei Steinkohlen 0,30 bis 0,35^m (11$^1/_2$ bis 13″), bei sehr großen Anlagen 0,40^m, bei Holz 0,70 bis 0,75^m (27 bis 29″) bei Torf 0,5^m (19″), bei Koaks 0,6^m (23″).

Die in den Feuerraum führende sogenannte Heizthür muß so breit sein, daß man den Rost bequem überblicken kann, und so hoch, daß das Einfeuern nicht behindert wird. Man bringt sie in einiger Entfernung vor dem Roste an, damit sie nicht zu sehr erhitzt wird, macht sie wohl auch hohl und füllt den Zwischenraum mit feuerfestem Thone, oder überhaupt mit einem schlechten Wärmeleiter aus. Statt einer ordentlichen Thür nur eine starke Blechplatte frei in die Thüröffnung zu stellen, ist wegen des schlechten Verschlusses durch dieselbe unzweckmäßig.

Die angegebenen Verhältnisse gelten im Allgemeinen für alle Herde. Herde mit aufwärtsgehendem Luftzuge finden sich abgebildet in Bd. II. S. 336 und 337; wegen der inneren Herde verweisen wir auf denselben Artikel S. 323. Ueber die anderen oben unterschiedenen Herde mögen einige kurze Bemerkungen genügen; nur die rauchverzehrenden verlangen eine ausführlichere Besprechung, und dabei werden auch die Herde mit niederwärtsgehendem Luftzuge ihre Erwähnung finden.

Durch Einführung von Dampf, entweder frei in den Aschenraum, also unter den Rost, oder aus hohlen, mit kleinen Oeffnungen versehenen Roststäben strömend, glaubte man eine Ersparniß an Brennmaterial zu erreichen von 21 bis 30 Proc. Allein da die durch die Bildung des Wassers hervorgebrachte Wärmemenge derjenigen gleich ist, welche durch seine Zersetzung absorbirt wird, so kann keine Wärmevermehrung eintreten. Der einzige Vortheil, welcher sich erzielen läßt, ist bereits oben erwähnt, nämlich daß durch das Einströmen von Dampf bei Brennmaterialien, welche gewöhnlich ohne Flamme brennen, eine Flamme erzeugt werden kann.

Eine Einführung von kalter Luft oder von Dampf und Luft zugleich ist nur bei zu schwachem Zuge empfehlenswerth. Luftströme von großer Geschwindigkeit wendet man nur da an, wo mitten im Brennmateriale eine hohe Temperatur

hervorgebracht werden soll. Die große Geschwindigkeit des Luftstromes wird entweder durch hohe und weite Schornsteine, oder durch Maschinen, Gebläse (s. d. Art.) erlangt. Da wir die Besprechung derartiger Heizungsanlagen bereits oben ausgeschlossen haben, so beschränken wir uns in Betreff derselben nur auf die Bemerkung, daß man durch Ersetzung der kalten Gebläseluft durch warme überall eine sehr bedeutende Ersparniß an Brennmaterial und zu gleicher Zeit eine große Zunahme an der täglichen Production erhalten hat, was nach Berthier wahrscheinlich darin seinen Grund hat, daß die Verwandtschaft der warmen Luft zur Kohle weit größer als die der kalten ist.

Die Verwendung der Sandkohlen bei Kesselfeuerung ist nach Péclet noch nicht recht geglückt; eben so macht die Verwendung des Anthracites noch manche Schwierigkeiten. Bei Leuchtgasfabriken hat man den gewonnenen Theer als Brennmaterial zu benutzen gesucht, aber ohne günstigen Erfolg. Wegen der Benutzung der aus den Gichtöffnungen der Hohöfen entweichenden brennbaren Gase verweisen wir auf Péclet *).

Sowohl um die Nachtheile des Rauches zu vermeiden, der wenigstens für die Umgebung vieler großer Feueranlagen höchst unbequem werden kann, als auch in der Hoffnung an Brennmaterial zu ersparen, hat man sich vielfach bemüht rauchverzehrende Herde zu construiren.

Da der Rauch vorzugsweise von der gewöhnlichen Art einzufeuern herrührt, so kam man, um die Herde rauchverzehrend zu machen, auf den glücklichen Gedanken, eine Einrichtung zu treffen, durch welche fortwährend Brennmaterial auf den Rost aufgeschüttet würde. Man brachte daher vor der Einheizungsöffnung einen Rumpf oder Trichter an, welcher mit dem Brennmaterial in Ueberschuß gefüllt war, und von dem aus durch einen Vertheilungsappgrat die erforderliche Menge auf den mit einem sich drehenden Roste versehenen Herd geworfen wurde. Da diese Einrichtung sehr zusammengesetzt war, eine sehr sorgfältige Beaufsichtigung erforderte und häufige Reparaturen nöthig machte, so ist sie wenig in Gebrauch gekommen.

Im Jahre 1823 führte Collier eine verbesserte Einrichtung aus. Aus einem Rumpfe fielen die Kohlen fortwährend auf zwei horizontale Quetschwalzen, deren Oberflächen mit Spitzen versehen waren, von hier gelangte die zerkleinerte Kohle auf zwei neben einander und in derselben horizontalen Ebene liegende kreisförmige Projectoren (Schleuderer), die sich in entgegengesetzter Richtung bewegten und zusammen wirkten. Jeder Projector hatte 6 trapezoidische Schaufeln und drehte sich 200 Mal in einer Minute herum. Der Herd hatte einen festen Rost. Zur Bewegung des Mechanismus war $1/2$ Pferdekraft erforderlich.

Die Vortheile waren folgende: 1) die Feuerung ist vollkommen regelmäßig; 2) alle oder fast alle Theile des Brennmaterials werden verbrannt; 3) der aus dem Schornsteine aufsteigende Rauch ist etwa so stark, als bei einem mit Holz gefeuerten Hausschornsteine; 4) man erspart etwa $1/10$ des Brennmaterials; 6) man kann ohne Nachtheil Staubkohlen benutzen; 6) das Nachschüren ist ohne Oeffnung des Ofens ausführbar, da man die Brennmaterialschicht von unterhalb des Rostes mit einem Haken leicht durchstoßen kann; 7) es ist kein geschickter Heizer nöthig und 8) der Apparat kann an jedem Ofen leicht angebracht werden.

*) A. a. O. S. 128.

Der Apparat erscheint indessen noch zu complicirt in seinem Mechanismus; wir begnügen uns daher mit einem Hinweis auf Péclet *), zumal die folgende Einrichtung von Hall den Vorzug verdient.

I.

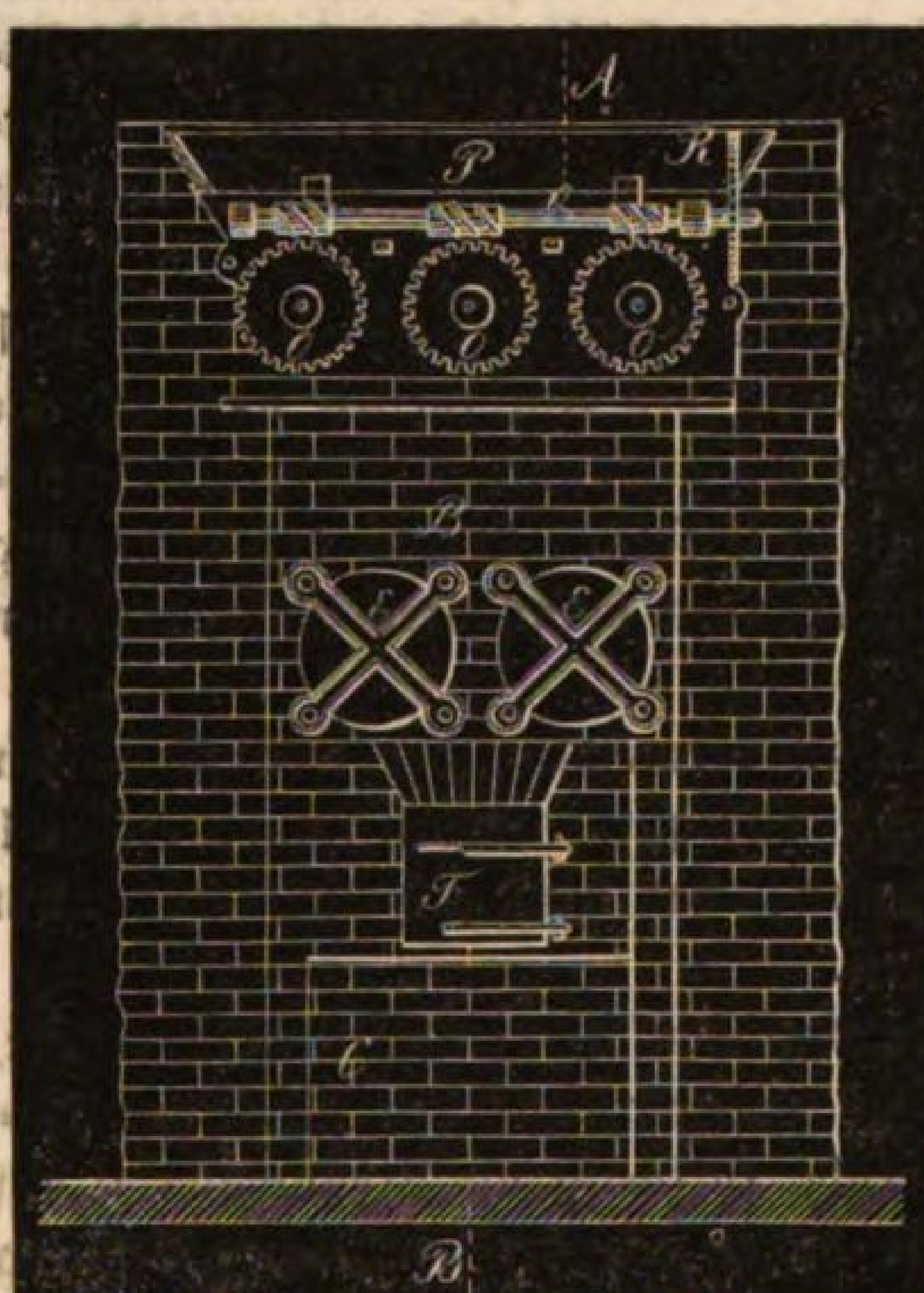


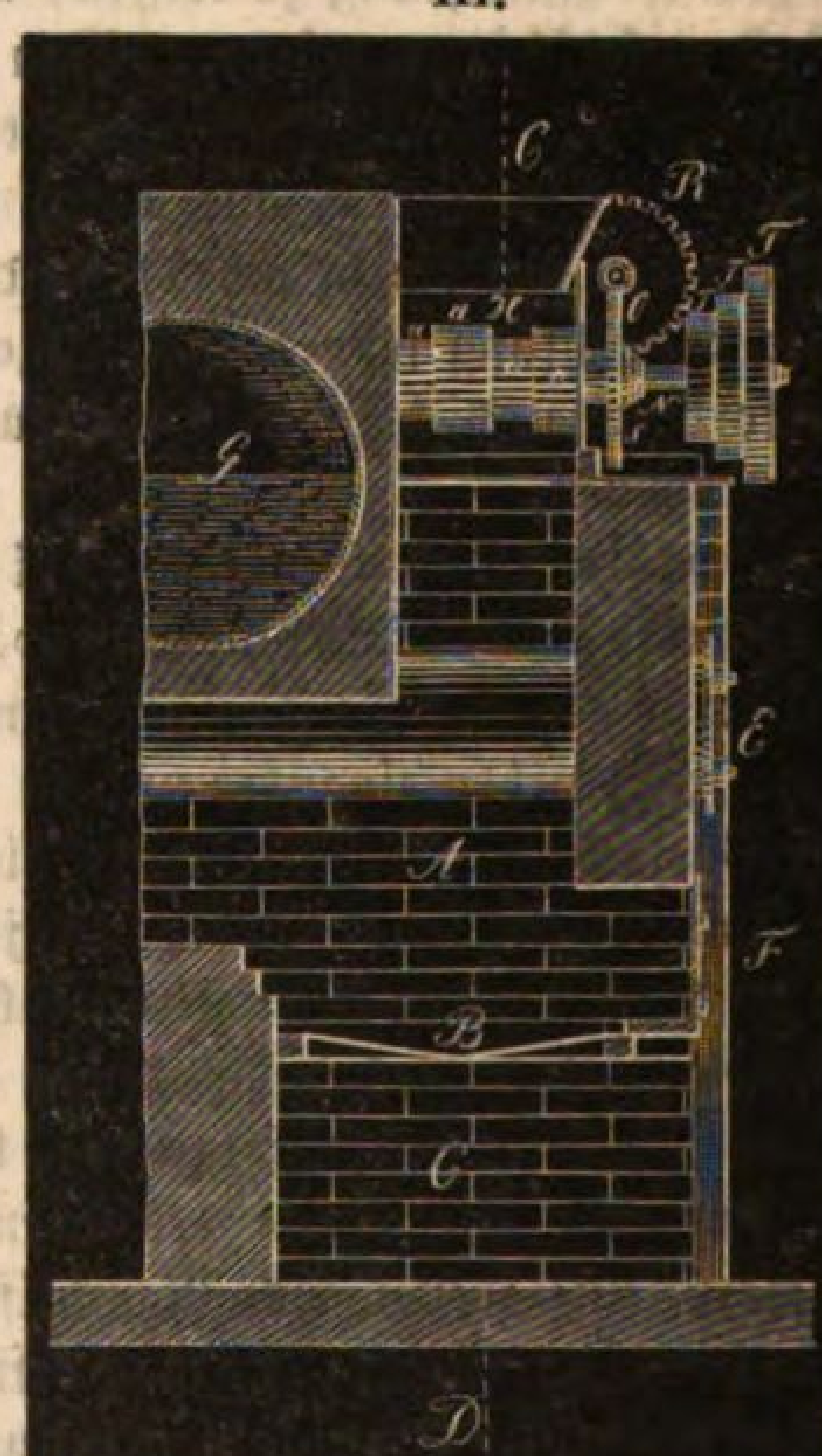
Fig. I. ist ein Aufriß des Ofens und Vertheilers, Fig. II. ein senkrechter Durchschnitt nach der Linie CD und Fig. III. ein senkrechter Durchschnitt nach der Linie AB.

A ist der Herd; B der festliegende Rost; C der Aschenraum; D, D Siederöhren; E, E Verschluß derselben, welcher durch Kreuze, die mit Schraube und Mutter befestigt sind, bewirkt wird; F Herdthür; G Kessel; H, H, H vierkantige Wellen, welche 4 Walzen a, a, a, a mit Riffeln nach Art der Sperrradzähne tragen, so zwar, daß sie abwechselnd stehen, d. h. daß das Vorstehende der einen Cannelüre der Vertiefung der Cannelüre der folgenden Walze entspricht; K Rumpf mit 3 Abtheilungen K' K' K' zur Aufnahme der

II.



III.



Staubkohlen; LL Mauern, welche die beiden Scheider des Rumpfes tragen; MMM drei regulirende Schieber, die auf den geneigten Wänden der Scheider des Rumpfes

*) A. a. O. S. 119.

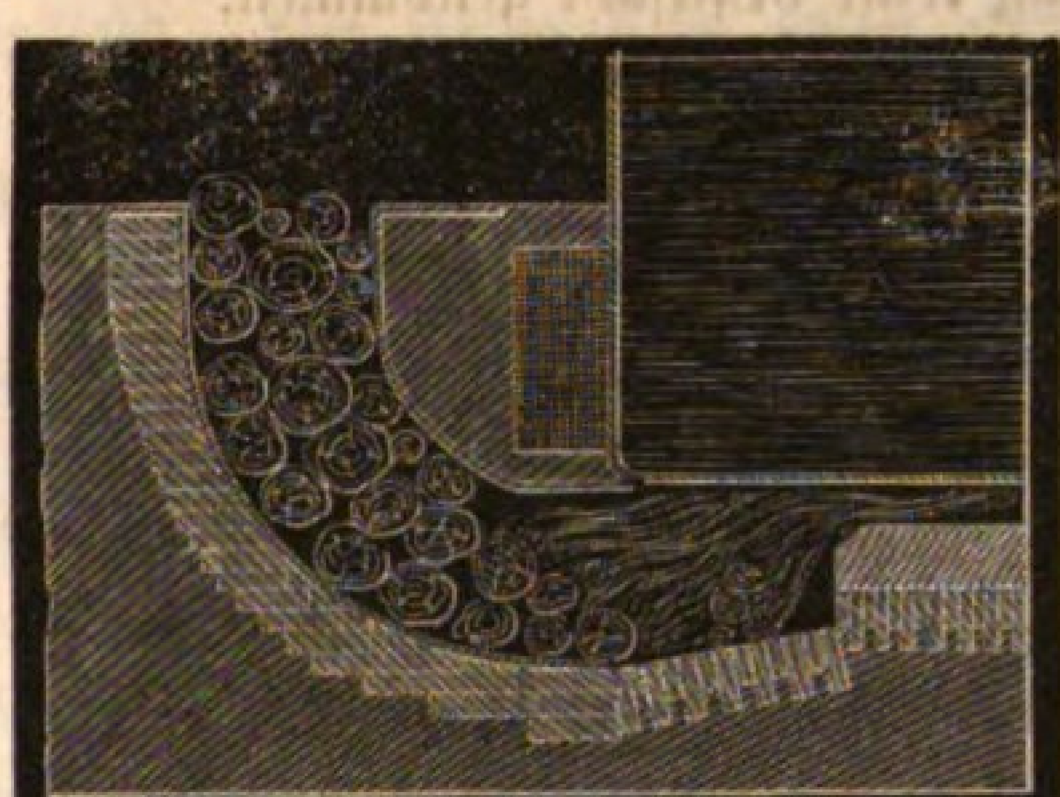
verschiebbar sind, und deren Bestimmung ist den zum Durchgange des Brennmaterials gelassenen Raum nach Belieben zu vergrößern, wobei sie mittelst der Schrauben b b festgestellt werden; O O O Zahnräder auf den Wellen der cannelirten Walzen H H, welche mittelst der Schrauben ohne Ende P, die an der Welle Q sich befinden, bewegt werden; R ein Zahnrad, welches mit Hülfe einer Schraube ohne Ende S, die an der Welle N sitzt und mittelst einer der Rollen T T T von der Dampfmaschine bewegt wird und darauf die Bewegung der Welle Q und folglich den cannelirten Walzen H H mittheilt.

Anstatt durch Verengerung oder Erweiterung der Durchgangsöffnung mittelst der Schieber M M das Herabfallen des Brennmaterials zu beschleunigen oder zu verzögern, kann man auch die Verbindung mit der Dampfmaschine durch die drei Rollen T T T von verschiedenen Durchmessern verändern und dadurch den Walzen H H eine verschiedene Geschwindigkeit ertheilen.

Durch diesen Apparat wird der Rauch bis auf eine kaum merkliche Menge verzehrt, und da seine sinnreiche Construction einfach und dauerhaft ist, er auch keinen im Feuer wirkenden Mechanismus enthält, so verdient er den Vorzug vor den anderweitig vorgeschlagenen.

Der Franzose Lefroy suchte den Rauch dadurch zu verzehren, daß er in dem Feuerraume Luftwirbel erzeugte. Das Brennmaterial fiel in bestimmten Zwischenräumen in bestimmter Menge aus einem Rumpf auf den Rost, und über diesem öffneten sich 4 lange enge Kanäle, welche in den Seitenmauern angebracht waren. Sobald das Feuer frisch geschürt wurde, öffneten sich diese Kanäle gleichzeitig durch einen einfachen Mechanismus, und durch die hierdurch entstehenden Wirbel verbrannte der Rauch vollständig.

Dasselbe suchte Dalesne durch einen Herd mit niederwärtsgehender Flamme zu erreichen. Der Luftstrom dringt durch den oberen Theil des Herdes ein, wie nebenstehende Figur anschaulich macht, und die Flamme verbreitet sich von oben nach unten. Das Resultat war sehr befriedigend, jedoch läßt sich diese Einrichtung nur bei Holz- und Torffeuerung anwenden, weil bei anderen Feuerungen Roste nöthig sind, die hierbei schnell zerstört werden würden.



Doppelte Herde hat man auch in Vorschlag gebracht, von denen der eine mit Koaks gefeuert werden würde und auf welchen die Flamme des unteren übergehen sollte. Daß man hierbei zweierlei Brennmaterial benutzen muß, ist unbequem. Denselben Vortheil hat man durch einen geneigten Rost erreichen wollen, um ein natürliches Fallen der glühenden Kohlen hinter den Rost zu veranlassen. Das Brennmaterial gleitet längs des Rostes herab, so daß der untere Theil stets glühende Kohlen enthält, während auf dem oberen Theile noch frische Kohlen liegen. Brennt man $^3/_4$ Steinkohlen und $^1/_4$ Koaks zusammen, so findet eine vollständige Rauchverzehrung statt. Daß hierbei der Kessel ebenfalls geneigt sein muß, versteht sich von selbst.

Neuerdings soll die Aufgabe den Rauch vollständig zu verzehren einem Hrn. Rideaux durch Construction einer eigenthümlichen Thür, welche den

Zufluß der Luft gerade so regulirt, daß eine vollständige Verbrennung erfolgt, gelungen sein.

Péclet kommt schließlich zu folgenden Resultaten: Die Herde mit festen horizontalen oder nur wenig geneigten Rosten, und mit nach bestimmten Zwischenräumen stattfindender Schürung des Brennmaterials lassen für ohne Flamme brennende Stoffe (Koaks, Holzkohle, Sandkohle und gewisse Anthracite) wenig zu wünschen übrig; jedoch muß, damit sich nicht Kohlenoxyd bildet und auch kein zu großes Luftvolumen durchströmt, für eine zweckmäßige Stärke der Brennmaterialschicht Sorge getragen werden. — Vollkommen befriedigend sind für Sandkohlen und Anthracite, welche wenig Rückstand hinterlassen, die Herde mit ununterbrochener Speisung, wenn die Brennmaterialschicht zweckmäßig ist. — Für Holz und Torf geben Herde mit niederwärtsgehender Flamme eine gute Verbrennung. — Bei Backkohlen oder wenigstens bei gewöhnlichen, flammenden Steinkohlen sind die Herde mit festen Rosten und mit in Zwischenräumen eintretender Speisung anderen Einrichtungen vorzuziehen, ungeachtet hierbei noch Manches zu wünschen bleibt.

2. Schornstein.

Für die theoretische Geschwindigkeit, mit welcher die äußere Luft in einen Schornstein einströmt, ist im Art. Feuer Bd. III. S. 143 gefunden worden:

$$c = \sqrt{4g \, . \, \frac{0{,}00365 \, . \, t \, . \, h}{1 + 0{,}00365 \, . \, t}}, \text{ wofür auch nur } \sqrt{4g \, . \, 0{,}00365 \, . \, t \, . \, h}$$

gesetzt werden kann,

wo $g = 15{,}625$ Fuß, t der Temperaturunterschied der inneren und äußeren Luft und h die Höhe des durchweg gleich weiten Schornsteines ist. Hierbei ist der Durchmesser $d = 1$ gesetzt und auf die Reibung keine Rücksicht genommen.

Wegen der Reibung ergiebt sich *), wenn f der Reibungscoefficient ist, ein Druckhöhenverlust:

$$h_1 = f \, . \, \frac{l}{d} \, . \, \frac{c^2}{4g},$$

wo l die Länge des Schornsteins und der in denselben führenden Kanäle bedeutet.

Für f ist nach Péclet für die mit Ruß überzogenen Schornsteine 0,049 oder einfacher 0,05 zu setzen. Doch ist diese Correction des theoretischen Resultates noch nicht ausreichend, da noch manche andere Nebenhindernisse sich geltend machen, z. B. im Herde. Nur durch die Erfahrung kann man diese weiteren Druckhöhenverluste ermitteln. Péclet führt deshalb noch einen Erfahrungscoefficienten $f_1 = 12$ ein, und erhält nun

$$c^2 = 4g \, . \, 0{,}00365 \, . \, t \, . \, h - 0{,}05 \, . \frac{l}{d} . \, c^2 - 12 \, . \, c^2$$

$$\text{oder } c^2 = \frac{4g \, . \, 0{,}00365 \, . \, t \, . \, h}{13 + 0{,}05 \, . \frac{l}{d}}.$$

*) Vergl. Weisbach, Ingenieur- und Maschinen-Mechanik. 1846. Bd. II. S. 486.

Mit Rücksicht darauf, daß die im Schornsteine befindliche halbverbrannte Luft etwa 1,044 Mal so dicht ist, als die frische Luft, ist dies Resultat noch umzuändern in

$$c^2 = \frac{4g \cdot 0{,}00365 \cdot t \cdot h}{1{,}044\left(13 + 0{,}05 \cdot \frac{l}{d}\right)},$$

woraus sich schließlich ergiebt:

$$c = 0{,}47 \sqrt{\frac{t \cdot h \cdot d}{13 \cdot d + 0{,}05 \cdot l}}.$$

Die Weite eines Schornsteins zu finden, durch welchen in einer Secunde ein bestimmtes Luft- oder Rauchquantum Q gehen soll, ist nun mit Hülfe der vorstehenden Formel leicht.

Für einen Schornstein mit kreisförmigem Querschnitte ergiebt sich:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} c = 0{,}47 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^{\frac{5}{2}} \sqrt{\frac{t \cdot h}{13 \cdot d + 0{,}05 \cdot l}},$$

also

$$d = 1{,}49 \sqrt[5]{\frac{13 \cdot d + 0{,}05 \cdot l}{t \cdot h} \cdot Q^2} \text{ Fuß.}$$

Für einen Schornstein mit quadratischem Querschnitte erhält man eben so für die Seite des Querschnittes, da $Q = d^2 c$ ist:

$$d = 1{,}353 \sqrt[5]{\frac{13 \cdot d + 0{,}05 \cdot l}{t \cdot h} \cdot Q^2} \text{ *)}.$$

Es ist vortheilhaft den Querschnitt größer zu machen als die Rechnung ergiebt. Der Schornstein erhält alsdann zwar einen Ueberschuß an Kraft, indessen läßt sich dies durch ein Register (M in der Fig. in Bd. II. S. 336) reguliren. Den Durchmesser der Züge oder Kanäle ändert man jedoch hierbei nicht.

Der Einfluß der Höhe auf die Geschwindigkeit der durch den Schornstein strömenden Luft, also auf den Zug, tritt in der für c gefundenen Formel deutlich hervor; denn, obgleich in l die Größe h auch enthalten ist, so wächst doch der Dividend bei größer werdendem h in größerem Maße als der Divisor. Man muß daher stets dem Schornsteine die größtmögliche Höhe geben, indem man dadurch bei nur geringer Kostenvermehrung ein kräftiges Element des Zuges erhält, was oft von großem Nutzen ist.

Die gefundene Formel für c giebt hinlänglich genaue Resultate bei allen Dampfkesseln, mit Ausnahme der Locomotive, wenn man annimmt, daß alle Züge des Herdes und der Schornstein selbst von unten bis oben denselben Querschnitt haben, ohne Rücksicht darauf, daß der Schornstein gewöhnlich nach oben enger wird.

---

*) Wegen der Auflösung dieser Gleichungen bemerken wir noch, daß man zunächst 0,05 l vernachlässigt, aus der Gleichung für d^4 einen Näherungswerth bestimmt, diesen in die obigen Gleichungen einsetzt, daraus einen noch genaueren Werth ermittelt und so bis zu genügender Genauigkeit fortfährt.

Da die Weite des Schornsteins von dem Luftquantum abhängig ist, welches in einer Secunde durchströmen muß, dies aber wieder nach dem Brennmaterial verschieden ist, so stellen wir hier noch die darauf bezüglichen Resultate nach Péclet zusammen, verweisen indessen auch noch auf die bei den einzelnen Brennmaterialien gemachten Angaben.

Bezeichnen wir den Ausdehnungscoefficienten der Luft 0,00365 mit a, die Temperatur der Gase an der oberen Schornsteinmündung mit t, so bedarf 1 Kilogramm des Brennmaterials folgendes Luftvolumen, ausgedrückt in Cubikmetern, zu seiner Verbrennung:

Vollkommen trockenes Holz . . .	=	7,34 $(1 + at)$
Gewöhnliches Holz	=	6,11 $(1 + at)$
Holzkohle	=	16,40 $(1 + at)$
Getrockneter Torf	=	11,73 $(1 + at)$
Gewöhnlicher Torf	=	9,65 $(1 + at)$
Torfkohle	=	13,20 $(1 + at)$
Steinkohlen mittlerer Güte . . .	=	18,44 $(1 + at)$
Koaks mit 0,15 Aschengehalt . . .	=	15,00 $(1 + at)$

Die mittlere Temperatur der im Schornsteine befindlichen warmen Luft hängt ab von der Temperatur der Luft beim Ausströmen aus dem Herde, von der Abkühlung derselben beim Durchgange durch die Heizoberflächen und außerdem noch von der Abkühlung beim Durchströmen durch den Schornstein selbst. Die Bestimmung dieser mittleren Temperatur durch Rechnung ist, wie sich hieraus ergiebt, unmöglich; auch Versuche bei einem gegebenen Apparate geben kein genaues Resultat. Péclet nimmt die mittlere Temperatur in dem Schornsteine eines Dampfkessels zu 300° C. an.

In den meisten großen Hütten und Fabriken erbaut man für alle Oefen und Herde nur einen Schornstein. Daß dadurch an Erbauungskosten erspart wird, ist an sich klar; aber ein besonderer Vortheil stellt sich noch dadurch heraus, daß der Zug gleichförmiger wird, weil eine Feuerung den Zug der anderen corrigirt. Den Querschnitt dieses gemeinschaftlichen Schornsteines sollte man nicht, wie es gewöhnlich geschieht, gleich der Summe aller Querschnitte der sonst erforderlichen einzelnen Schornsteine machen, weil hier die Hindernisse nicht so bedeutend sind, als in den einzelnen Schornsteinen zusammen genommen.

Nach Redtenbacher *) erhält man mit einer für die Praxis genügenden Genauigkeit die Dimensionen der Schornsteine in folgender Weise:

S bezeichne die Steinkohlenmenge in Kilogr., welche in je 1 Stunde auf dem Feuerherde verbrannt wird; H in gleicher Weise die Holzmenge; L die Luftmenge in Kilogr., welche stündlich in dem Schornsteine aufsteigt; N die Pferdekraft der Maschine oder des Kessels bei Dampfmaschinen-Kesselheizungen; H die Höhe des Schornsteines; Ω den unteren Querschnitt des Schornsteines; d die untere und d' die obere Weite und e die untere und e' die obere Mauerdicke des Schornsteines; so ist:

$$N = \frac{S}{6} = \frac{H}{12} = \frac{L}{132}.$$

*) Resultate 2c. §. 227. S. 182.

Ist die Höhe des Schornsteines durch Local- oder andere Verhältnisse bekannt, so ist:

$$\Omega = \frac{N}{14\sqrt{H}}.$$

$$d_1 = d - 0{,}013\ H;\ e_1 = 0{,}18^m \text{ und } e = 0{,}18 + 0{,}015\ H.$$

Für freistehende Schornsteine ist es zweckmäßig die Höhe 25 Mal so groß zu machen, als den unteren Durchmesser; die anderen Dimensionen bleiben dieselben, wie vorher angegeben wurde.

Der erste Physiker, welcher sich mit der Bestimmung des Querschnittes eines Schornsteines beschäftigte, ist Montgolfier gewesen. Er sah von allen Hindernissen ab, und fand, wenn wir den einzelnen Buchstaben die oben gegebene Bedeutung lassen:

$$d^2 = \frac{Q}{\sqrt{hat}}$$

Clement nahm die Ausströmungsgeschwindigkeit der Luft 5 Mal geringer an, und setzte also

$$d^2 = \frac{5\ Q}{\sqrt{hat}}.$$

Die erste Formel giebt zu geringe Resultate, die zweite zu große.

Tredgold bestimmt den Schornsteinquerschnitt für einen Dampfkessel nach folgender Methode. Bei einer Niederdruckmaschine von mehr als 10 Pferdekräften dividirt man die **vierfache** Kraft der Maschine in Pferdekräften durch die Quadratwurzel der Schornsteinhöhe. Man erhält auf diese Weise den Querschnitt in Quadratcentimetern. Da Tredgold annimmt, daß eine Pferdekraft in der Stunde 5 Kilogramm Steinkohlen verbraucht, so erhält man dasselbe Resultat, wenn man $^4/_5$ von der Kilogrammzahl der in der Stunde zu verbrauchenden Steinkohlen mit der Quadratwurzel der Schornsteinhöhe dividirt. Bei Hochdruckmaschinen wird statt der **vierfachen** Pferdekraft die **einfache** gesetzt, oder statt $^4/_5$ des Steinkohlengewichtes nur $^1/_5$, und überdies soll man den Querschnitt stets verdoppeln *).

Nach Darcet ist die zweckmäßigste Schornsteinhöhe für Dampfmaschinen 30 Meter mit einem solchen Querschnitte, daß jedes Quadratdecimeter einem Steinkohlenverbrauche von 3 bis 3,3 Kilogrammen in der Stunde entspricht, und mit einer Rostoberfläche, welche dreimal größer ist, als der Querschnitt des Schornsteins. Hiermit stimmen die Resultate von Péclet sehr befriedigend.

Durch die Schornsteine geht im Allgemeinen viel Wärme verloren, weil die verbrannte Luft stets mit einer hohen Temperatur entweicht. Bei Dampfkesselherden beträgt der Verlust **) fast $^1/_3$ von der ganzen durch das Brennmaterial hervorgebrachten Wärme.

---

*) Tredgold, Treatise on the steam engine. p. 176.

**) Vergl. Art. Dampfmaschine. Bd. II. S. 326.

Bezeichnen wir mit T_1 die Temperatur, welche die Luft im Brennherde bei der Verbrennung annimmt, und mit t_1 die Temperatur, mit welcher die Gase in den Schornstein eintreten; so zeigt (a. a. O.) die Differenz $T_1 - t_1$ die Wärmemenge an, welche in dem Heizapparate verbraucht worden ist, und $\frac{t_1}{T_1}$ den Wärmeverlust.

Die Bestimmung dieses Wärmeverlustes hat keine Schwierigkeit. Bezeichnen wir *) mit H die in Wärmeeinheiten ausgedrückte Heizkraft von 1 Kilogr. des Brennmaterials, mit m die zum vollständigen Verbrennen von 1 Kilogr. des Brennstoffes nöthige Luftmenge in Cubikmetern, mit s = 0,2669 oder fast = $\frac{1}{4}$ die Wärmecapacität der Luft, und mit l = 1,3 Kilogr. das Gewicht von 1 Cubikmeter Luft; so ist $T' = \frac{H}{s \cdot m \cdot l}$.

Da nämlich durch 1 Kilogramm des Brennmaterials 1 Kilogr. Wasser um H Grad erwärmt wird, so würde 1 Kilogr. Luft auf $\frac{H}{s}$ Grad erwärmt werden; die Temperatur von m Cubikmetern oder m l Kilogramm Luft muß demnach $\frac{H}{s \cdot m \cdot l}$ sein.

Der Wärmeverlust ist mithin

$$\frac{t_1}{T_1} = \frac{t_1 \, s \cdot m \cdot l}{H}.$$

Nehmen wir die Heizkraft der Steinkohlen = 7500 Wärmeeinheiten, so erhalten wir, da m = 18,44 bei 0° C. ist, bei einer Temperatur von 300° im Schornsteine: $\frac{t'}{T'} = \frac{300 \cdot 0{,}2669 \cdot 18{,}44 \cdot 1{,}3}{7500} = 0{,}2559$ oder über $\frac{1}{4}$.

Strömt in derselben Zeit 2, 3, 4 Mal mehr Luft durch das Brennmaterial, so wird offenbar der Verlust auch 2, 3, 4 Mal größer. Man ersieht hieraus, wie wichtig es ist, nur die nöthige Luftmenge durchströmen zu lassen. Eben so muß man jedoch auch vermeiden, daß das Luftquantum unzureichend ist, weil sich dann Kohlenoxyd bildet und hierdurch ein noch größerer Wärmeverlust veranlaßt werden würde, da 1 Kilogr. Holzkohle bei Verwandlung in Kohlensäure 7170 Wärmeeinheiten hervorbringt, bei Bildung von Kohlenoxyd jedoch nur 1386.

Péclet **) setzt $s = \frac{1}{4}$ und erhält für die verschiedenen Brennmaterialien folgende Resultate:

*) Vergl. Bd. II. S. 328.
**) A. a. O. S. 86.

Brennmaterial	Heizkraft in Wärme-einheiten	Volumen des erzeugten Gases und Dampfes Cubikmeter	Temperatur des Rauches
Vollkommen trocknes Holz	3600	7,34	1509°
Gewöhnliches Holz mit 20 Proc. Wasser	2800	6,11	1400
Steinkohlen mittlerer Güte	7500	18,43	1250
Koaks mit 15 Proc. Aschengehalt . .	6000	15,00	1230
Vollkommen trockner Torf	4800	11,73	1263
Gewöhnlicher Torf mit 20 Proc. Wasser	3600	9,65	1152
Holzkohle	7000	16,40	1313

Wärmeverlust durch einen Schorstein, dessen Herd mit Steinkohlen gefeuert wird, bei einer Temperatur der Luft = 0. Die ganze erzeugte Wärme ist als Einheit genommen.

Temperatur am unteren Ende des Schornsteines	Die Luft ist verbrannt					
	gänzlich	zu 1/2	zu 1/3	zu 1/4	zu 1/5	zu 1/6
50	0,021	0,043	0,063	0,086	0,105	0,126
100	0,043	0,086	0,126	0,172	0,210	0,252
150	0,063	0,129	0,189	0,258	0,315	0,378
200	0,086	0,172	0,252	0,344	0,420	0,504
250	0,105	0,215	0,315	0,430	0,525	0,630
300	0,129	0,248	0,378	0,516	0,630	0,756
350	0,147	0,331	0,441	0,602	0,735	0,882
400	0,172	0,344	0,504	0,688	0,840	„
450	0,189	0,387	0,567	0,774	0,945	„
500	0,215	0,430	0,630	0,860	„	„

In Betreff der Construction der Schornsteine müssen wir uns hier, da dieser Gegenstand in das Gebiet der rein mechanischen Technologie gehört, auf einige wenige mehr physikalische Bemerkungen beschränken. Wir bemerken nur außerdem, daß man als Material entweder Steine (Ziegel), oder Metall (Eisenblech) wählt, und geben nach Weisbach *) den Durchschnitt eines Schornsteins aus diesen beiden Materialien.

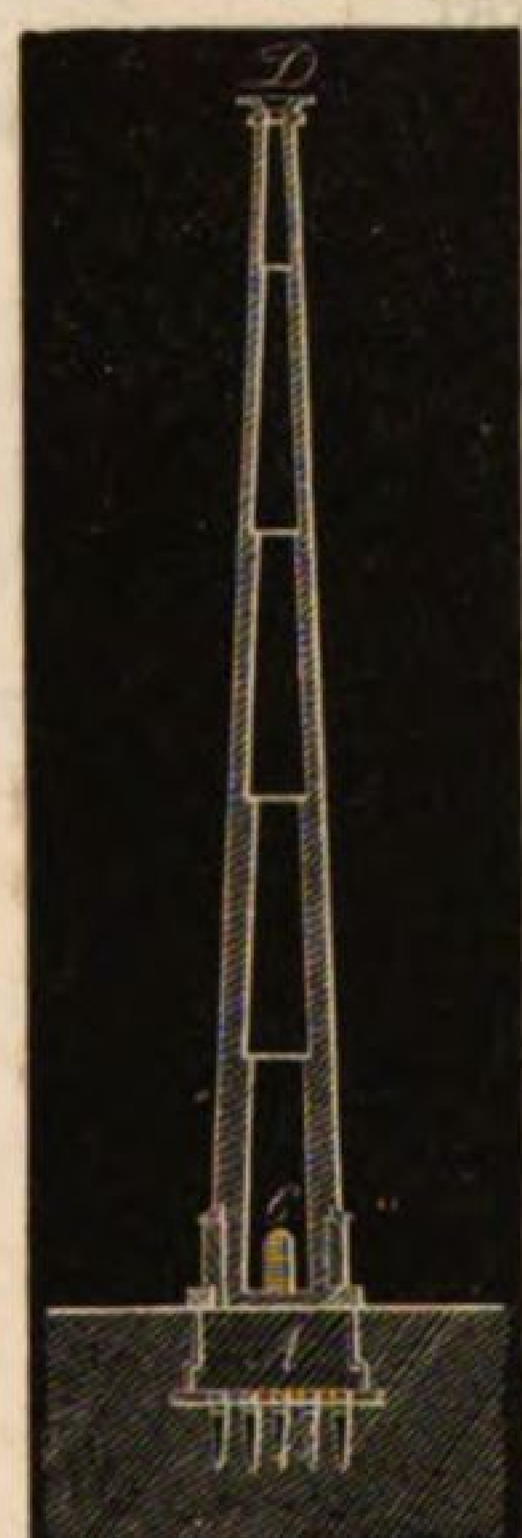
Bei der umstehenden Fig. I. ist A das Fundament, auf einem Pfahlroste B ruhend, C die Einmündung des Feuerkanales oder Fuchses, oben abgerundet, damit sich der Rauch beim Eintritte in den Schornstein nicht stoße. D ist ein gußeiserner Hut.

Bei der umstehenden Fig. II. ist AA das auf festem Grunde stehende, aus Ziegeln aufgeführte Fundament, aa sind Ankerschrauben, welche den Fuß des

*) Ingenieur- und Maschinen-Mechanik. Bd. II. S. 485.

eisernen Schornsteines BCE mittelst einer Platte fest mit dem Fundamente verbinden; DD sind bis auf den Erdboden niedergehende Drahtketten zum Schutze gegen den Wind; E ist eine Rolle, über welche eine Kette geht, an der ein Arbeiter wegen des Reinigens und Anstreichens hinaufgewunden werden kann; F ist die Einmündung des Fuchses und b eine Thür zum Ausputzen.

I.



II.



Die Kreisform ist die zweckmäßigste des Querschnittes, weil sie bei gegebener Oberfläche den geringsten Umfang hat. Die polygonale Form mit vielen Seiten kommt dieser am nächsten. Schmidt, über Schornsteine bei Dampfkesselanlagen, empfiehlt im Innern 8eckige Schornsteine *). Metallische und thönerne Schornsteine macht man gewöhnlich rund, die aus Ziegeln quadratisch oder rechteckig. Metallische sind leicht zerstörbar: kupferne wegen des Schwefelkupfers, eiserne wegen des Schwefeleisens und schwefelsauren Eisenoxyduls, welches sich bei Steinkohlenfeuerung bildet **).

Den Querschnitt unten weiter, als oben zu machen, würde, wenn sich die bewegte Luft genau wie eine tropfbare Flüssigkeit verhielte, höchst unzweckmäßig sein, da hierdurch ein bedeutender Verlust an der bewegenden Höhe veranlaßt werden würde. Indessen scheint dieser Umstand nur geringen Einfluß zu haben, wiewohl die cylindrische Form entschieden die zweckmäßigste bleibt.

Isolirt stehende und sehr hohe Schornsteine versieht man zweckmäßig mit Blitzableitern.

Wo man für mehrere Feuerungsanlagen einen gemeinschaftlichen Schornstein anwendet, muß dafür Sorge getragen werden, daß die verschiedenen Gasströme bei ihrer Einmündung nicht auf einander wirken können.

Für Wohngebäude haben übertriebene Dimensionen große Nachtheile, nicht nur weil sie viel Raum wegnehmen, sondern auch weil sie die Entstehung doppelter Ströme und daher das Eindringen des Rauches in die Zimmer begünstigen. Aus Gewohnheit, Unverstand und anderen Ursachen haben sich die weiten Schornsteine lange erhalten, ungeachtet sich schon längst wichtige Stimmen dagegen erklärten ***). Für ein gewöhnliches Zimmer braucht der Schornstein nicht weiter zu sein, als 6 bis 8 Zoll. Man nennt diese engen Schornsteine russische und

---

*) Verhandlungen des Vereins rc. in Preußen. Jahrg. 19. 1840. S. 170.

**) Verhandlungen des Vereins rc. in Preußen. Jahrg. 19. 1840. S. 165 u. 243.

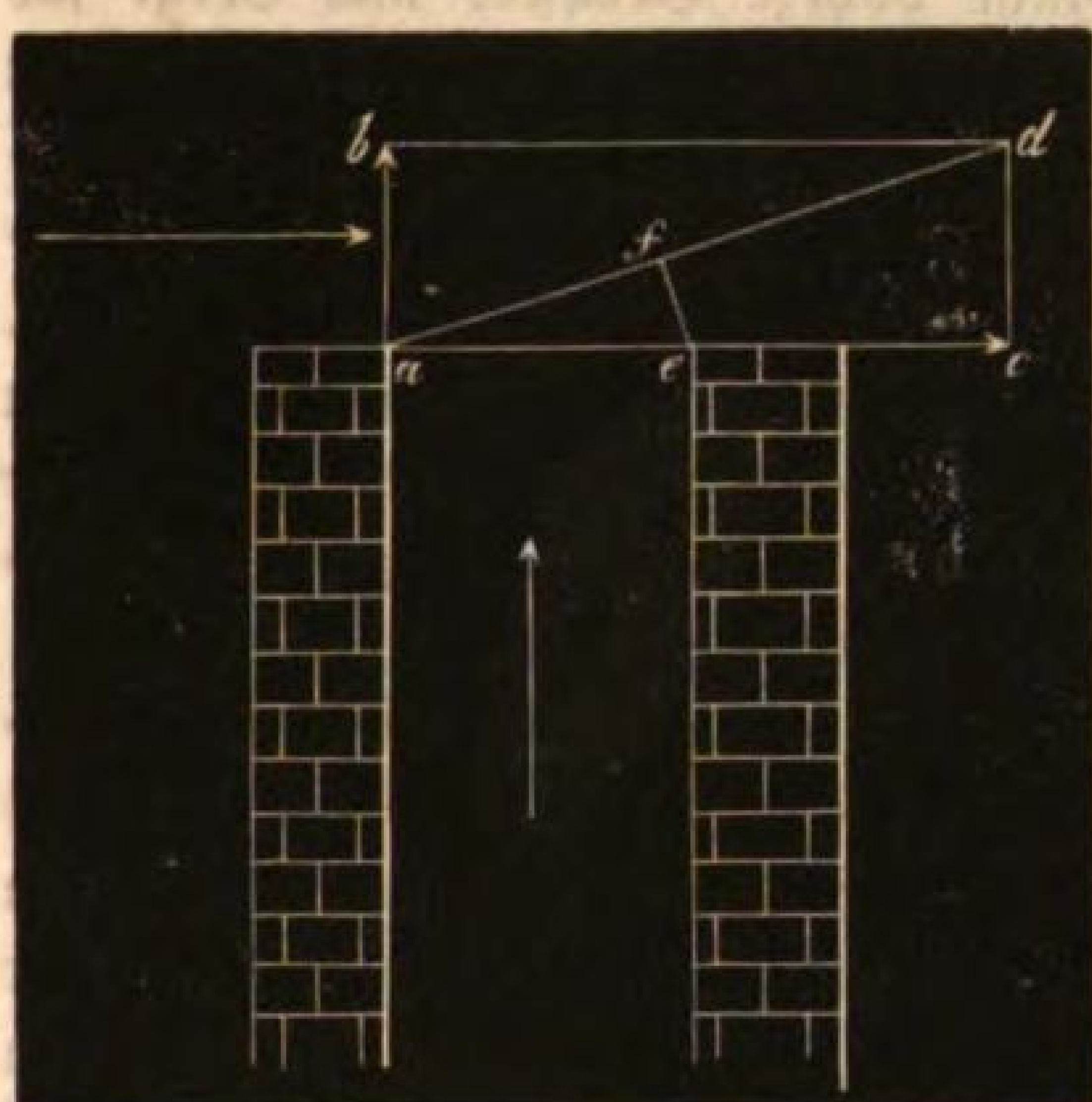
***) Gilly, Landbaukunst. Th. II. S. 202; Besson, über die gewöhnliche Bauart der Schornsteinröhren unter dem Dache rc., in: Sammlung nützlicher Aufsätze und Nachrichten, die Baukunst betreffend. Jahrg. 1797. Bd I. S. 96; Herrlich, Anleitung zum Bau des russischen Stubenofens. Berlin. 1821. S. 22.

führt sie in der Regel von gewöhnlichen Ziegeln in der Mauerdicke der Häuser auf. Eigens geformte Brandsteine zu runden Schornsteinen ließ Courlier anfertigen *).

In geschichtlicher Beziehung bemerken wir, daß die älteste Nachricht von Schornsteinen aus dem Jahre 1347 stammt. Eine zu Venedig gefundene Inschrift theilt nämlich mit, daß in diesem Jahre durch ein Erdbeben eine große Anzahl von Schornsteinen umgestürzt worden sei. Zu Senecas Zeiten fing man an in den Mauern Kanäle anzubringen, um aus den unteren Etagen Wärme in die oberen zu leiten. Dies scheint der Ursprung der Schornsteine zu sein.

Bei den vorstehenden die Schornsteine betreffenden Verhältnissen ist der Einfluß des Zustandes der Atmosphäre unberücksichtigt geblieben. Wir werden daher jetzt noch den Einfluß des Windes, der Temperatur, des Barometerstandes, des hygrometrischen Zustandes und der directen Sonnenstrahlen festzustellen haben.

Wind. Aus der Schornsteinöffnung vom Querschnitte ae in beistehender Figur ströme der Rauch mit der Geschwindigkeit ab, und senkrecht auf die Richtung des Schornsteines, also horizontal, der Wind mit der Geschwindigkeit ac; so wird ad die Geschwindigkeit und Richtung bezeichnen, welche der Rauch annehmen muß. Fällen wir ef senkrecht auf ad, und nennen $\angle aef = x$, $ad = V$ und $ab = v$, so ist:



$$ef = ae . \cos x \text{ und } cd = ad . \cos x$$

folglich

$$v : V = ef : ae;$$

es verhält sich also der Querschnitt der Rauchströmung zu dem Querschnitte des Schornsteins, wie die Geschwindigkeit des Rauches im Schornsteine zu der Geschwindigkeit des Rauches außerhalb des Schornsteines.

Die vermehrte Geschwindigkeit des Rauches wird in diesem Falle die Verminderung des Querschnittes ausgleichen.

Die Richtung des Windes sei vertical von oben nach unten. Ist die Geschwindigkeit des Windes der des Rauches im Schornsteine gleich; so wird das Emporsteigen der Luft im Innern des Schornsteines gehemmt, und die sich fortwährend aus dem Brennmateriale entwickelnde verbrannte Luft muß endlich in das Zimmer zurücktreten. Ist die Geschwindigkeit des Windes noch größer, so wird die äußere Luft in den Schornstein eindringen und mit der aus dem Brennmateriale entwickelten verbrannten Luft durch die Herdthüre ausströmen. Ist die Geschwindigkeit des Windes kleiner, so strömt der Rauch mit verminderter Geschwindigkeit aus.

*) Exposé d'un nouveau mode de construction des tuyaux de cheminées, renfermés dans l'épaisseur des murs en briques faites exprès etc. Paris. 1823. Vergl. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen. Jahrg. 3. Berlin 1824.

Die Richtung des Windes sei vertical von unten nach oben. In diesem Falle wird der Wind die Ausströmungsgeschwindigkeit beschleunigen.

Selten haben die Winde die hier angenommenen Richtungen, sondern sie sind fast immer mehr oder weniger gegen den Horizont geneigt. Da man nun den geneigten Strom als aus einem horizontalen und verticalen zusammengesetzt ansehen kann, so ergiebt sich, daß der Einfluß des Windes günstig ist, wenn er eine ansteigende Richtung hat, und ungünstig, wenn dieselbe fallend ist.

Je geringer der Zug und je größer die Geschwindigkeit des Windes ist, und je mehr derselbe eine gegen den Horizont fallende Neigung hat, desto bedeutender ist die von dem Winde veranlaßte Verminderung des Zuges im Schornsteine. Da sich nun in vielen Fällen ein größerer anfänglicher Zug im Schornsteine nicht zweckmäßig erweist, so wird es nothwendig die obere Schornsteinöffnung mit besonderen Apparaten (bewegliche und feste Hauben) zu versehen, welche den Einfluß der Winde aufheben, oder denselben sogar zur Verstärkung des Zuges benutzen.

Bei hohen und isolirt stehenden Schornsteinen ist der Einfluß der Winde sehr gering; anders ist es dagegen, wenn die Schornsteine das Dach der Gebäude nur wenig überragen, und wenn in ihrer Nähe höhere Gebäude und Berge sich befinden, weil dadurch die Windrichtung wesentlich modificirt wird und selbst zum Horizonte fallend werden kann.

Temperatur. Je dichter die Luft ist, desto lebhafter muß der Verbrennungsproceß vor sich gehen; bleibt also die Temperatur im Schornsteine constant, ändert sich aber die der äußeren Luft, so verändert sich der Zug im umgekehrten Verhältnisse mit zu- und abnehmender Temperatur. Hieraus folgt, daß im Winter der Zug stärker ist, als in jeder anderen Jahreszeit. Bei mit erwärmter Luft betriebenen Hohöfen wird ein Luftstrom von großer Geschwindigkeit angewendet.

Barometerstand. Wenn in dem Herde bei verschiedenen Barometerständen stets dieselbe Temperatur erzeugt würde, so würde der Barometerstand auf den Zug ohne Einfluß sein; da aber bei niedrigerem Barometerstande dem Gewichte nach weniger Luft zu dem Brennmateriale zuströmt, so wird auch weniger von diesem verbrannt. Ist der atmosphärische Druck bis auf $^3/_4$ des gewöhnlichen geschwächt, so reicht die durch den Verbrennungsproceß erzeugte Wärme nicht mehr aus, um die Verbrennung des Brennmaterials zu unterhalten. Saussure machte eine solche Erfahrung auf dem Mont-Blanc.

Hygrometrischer Zustand. Dieser ist im Allgemeinen ohne wesentlichen Einfluß auf den Zug, wohl aber auf den Verbrennungsproceß im Herde. In dem Maße, in welchem die in der Luft enthaltenen Wasserdünste zunehmen, entgeht auch eine größere Luftmenge der Verbrennung, der Zug wird schwächer und der Nutzeffect des Brennmaterials verringert sich. Wir sehen also, daß die drei zuletzt betrachteten Momente nicht direct, wohl aber indirect auf den Zug Einfluß haben, und es muß also bei feuchter Witterung, d. h. bei niederem Barometerstande, hoher Temperatur und mit Wasserdünsten gesättigter Luft die Schwächung des Zuges am auffallendsten hervortreten. In manchen Fabriken muß daher bei solchem Wetter der Betrieb eingestellt werden.

Wenn dieser hygrometrische Einfluß mit dem Vortheile in Widerspruche zu stehen scheint, den das Einführen von Dämpfen gewährt, wie wir oben gesehen haben; so muß man nur bedenken, daß in solchen Fällen für eine lebhafte Verbrennung anderweitig gesorgt wird.

Directe Sonnenstrahlen drängen bei Schornsteinen von geringer Temperatur, z. B. bei Zimmerschornsteinen den Rauch zurück. Der Grund hiervon ist wahrscheinlich der, daß die Umgebung des Schornsteines stark erhitzt worden ist, wodurch emporsteigende Luftströme entstehen, die um den minder warmen Schornstein herum entgegengesetzte Richtung haben. Eine auf den Schornstein gesetzte Haube beseitigt diesen Uebelstand.

D. Heizung der Wohnungen.

Die Heizung der Wohnungen oder abgeschlossener Räume überhaupt hat zum Zwecke, die Luft, welche in denselben enthalten ist, auf einen gewissen Temperaturgrad zu bringen, der die Temperatur der äußeren Luft übertrifft. Es muß dazu eine Wärmequelle erregt werden, welche die Temperaturerhöhung bewirkt, und außerdem müssen die Verhältnisse der Art sein, daß die verlangte mittlere Temperatur erhalten bleibt. Wir werden in dem Folgenden vorzugsweise die Heizung der Wohnungen ins Auge fassen und auf die Anwendung der verschiedenen Heizungsarten für andere Räume nur andeutend verfahren.

I. Heizungsarten.

1. Directe Heizung.

Die directe Heizung der Zimmer durch Kohlenpfannen und kleine Oefen ohne Schornsteine ist wohl die erste Heizungsart gewesen, welche für Wohnungen zur Anwendung gekommen ist. In Spanien ist sie noch jetzt allgemein in Gebrauch und auch in einzelnen Fabrikationszweigen, z. B. bei der Anfertigung von Wachskerzen, bedient man sich noch derselben.

Es sei hier nur bemerkt, daß diese Heizungsart die Luft verschlechtert und zum Athmen untauglich macht. Dies letztere tritt ein, wenn die Luft nur noch $^1/_3$ des ursprünglichen Sauerstoffgehaltes hat. Da nun 1 Kilogr. Holzkohle den Sauerstoff in 9 Cubikmetern atmosphärischer Luft vollständig zur Kohlensäurebildung verbraucht; so werden durch das Verbrennen von 1 Kilogr. Holzkohle 27 Cubikmeter atmosphärischer Luft zum Athmen untauglich gemacht. Die mit dieser Heizungsart verbundene Gefahr liegt also auf der Hand. Hierzu kommt noch, daß bei diesen unvollkommenen Apparaten sich noch Kohlenoxydgas bildet, von welchem schon $^1/_{100}$ den Tod warmblütiger Thiere zu veranlassen ausreichend ist.

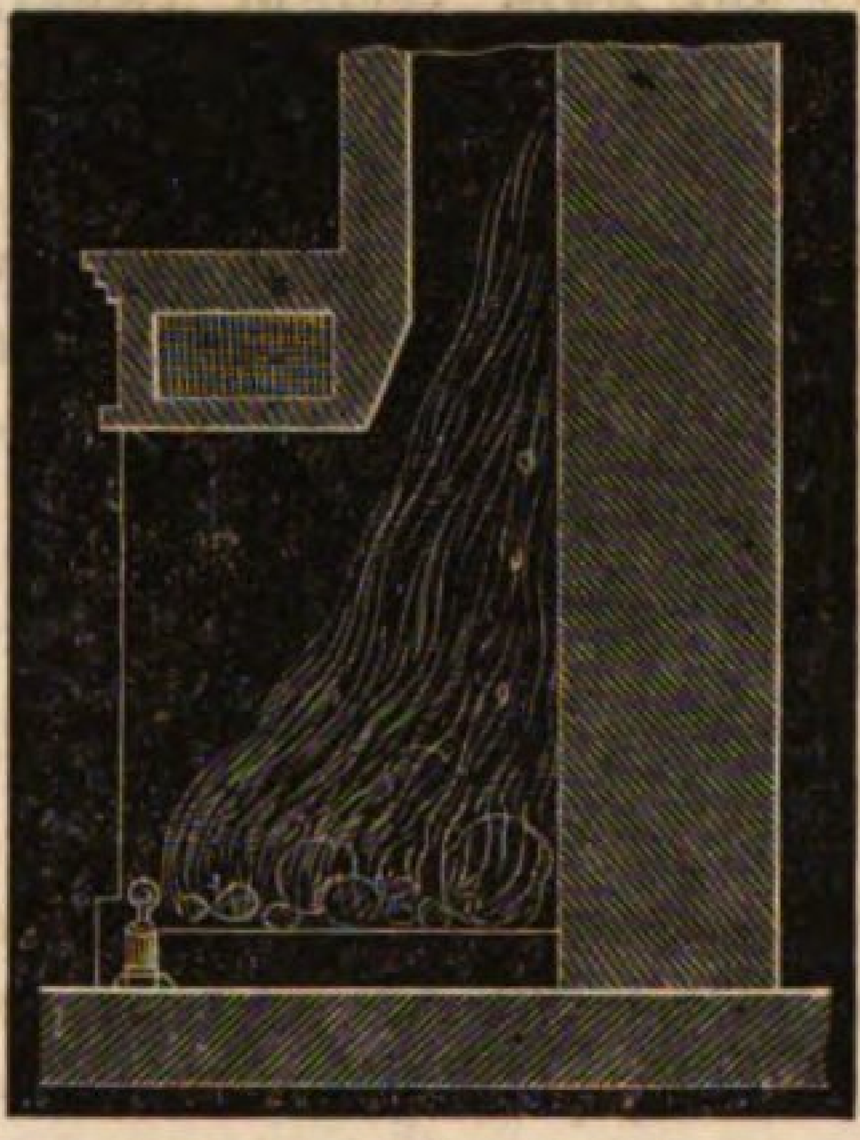
In Räumen, in denen sich Menschen aufhalten müssen, sollte eine solche Heizung unter allen Umständen verboten werden.

2. Kaminheizung.

Die Kaminheizung gründet sich auf Erwärmung der Luft durch unmittelbare Ausstrahlung der Wärme des Feuers. Die Kamine bestehen einfach in einer Nische mit einem Herde am unteren Theile der Wand, da wo der Schornstein in die Höhe steigt. Das offene Feuer strahlt seine Wärme in das Zimmer, und der Rauch zieht durch den Schornstein ab, indem durch das Zuströmen der Luft aus den unteren Schichten des Zimmers der nöthige Zug bewirkt wird. Da nur die strahlende Wärme des Feuers auf die Erwärmung des Zimmers einwirkt,

so gehen zwei Drittel, ja drei Viertel der aus dem Brennmateriale (Holz oder Kohle) entwickelten Wärme verloren. Außerdem ist ein bedeutender Luftwechsel durch die große Kamin- und Schornsteinöffnung bedingt; die Erwärmung des Zimmers hält daher nicht lange vor oder das Kaminfeuer muß fortwährend unterhalten werden. Hierzu kommt noch, daß auch selbst dann, wenn nicht geheizt wird, ein mehr oder weniger heftiger Luftzug im Zimmer stattfindet, es müßte denn ein genauer Verschluß des Kamines oder des Schornsteines angebracht sein.

Beistehende Figur giebt eine Darstellung eines dieser einfachen Heizapparate. Es ist diese Heizmethode entschieden eine der unvollkommensten; nur für wärmere Gegenden, wo es auf eine temporäre Erwärmung ankommt, oder für solche, welche Ueberfluß an Brennmaterial haben, geeignet. Auf diese Art seine Zimmer heizen zu wollen, ist Luxus. Trotzdem erhält sich dieselbe in manchen Ländern, z. B. in England und Frankreich, vielleicht weil es zum Bedürfniß geworden ist, das helllodernde Feuer zu beobachten und unterhalten zu können, und zum Theil auch wohl deshalb, weil man in einem Kamine eine gefällige Zimmerverzierung findet.



Eine wesentliche Verbesserung rührt von Rumford her. Er verengte die nach dem Schornsteine führende Oeffnung, verminderte die Tiefe des Herdes und umschloß ihn auf den Seiten mit Mauern, welche nicht wie früher unter rechten, sondern unter Winkeln von 135° gegen die Hinterwand geneigt sind. Diese Abänderungen sind viel günstiger für die Reflexion der Wärme, besonders wenn man die Seitenwände und die obere geneigte Wand aus weiß glasirten Fließen macht oder mit polirten Messingplatten belegt; auch an Brennmaterial wird eine Ersparung erzielt. Die bald folgenden Zeichnungen werden auch hiervon die nöthige Anschauung gewähren.

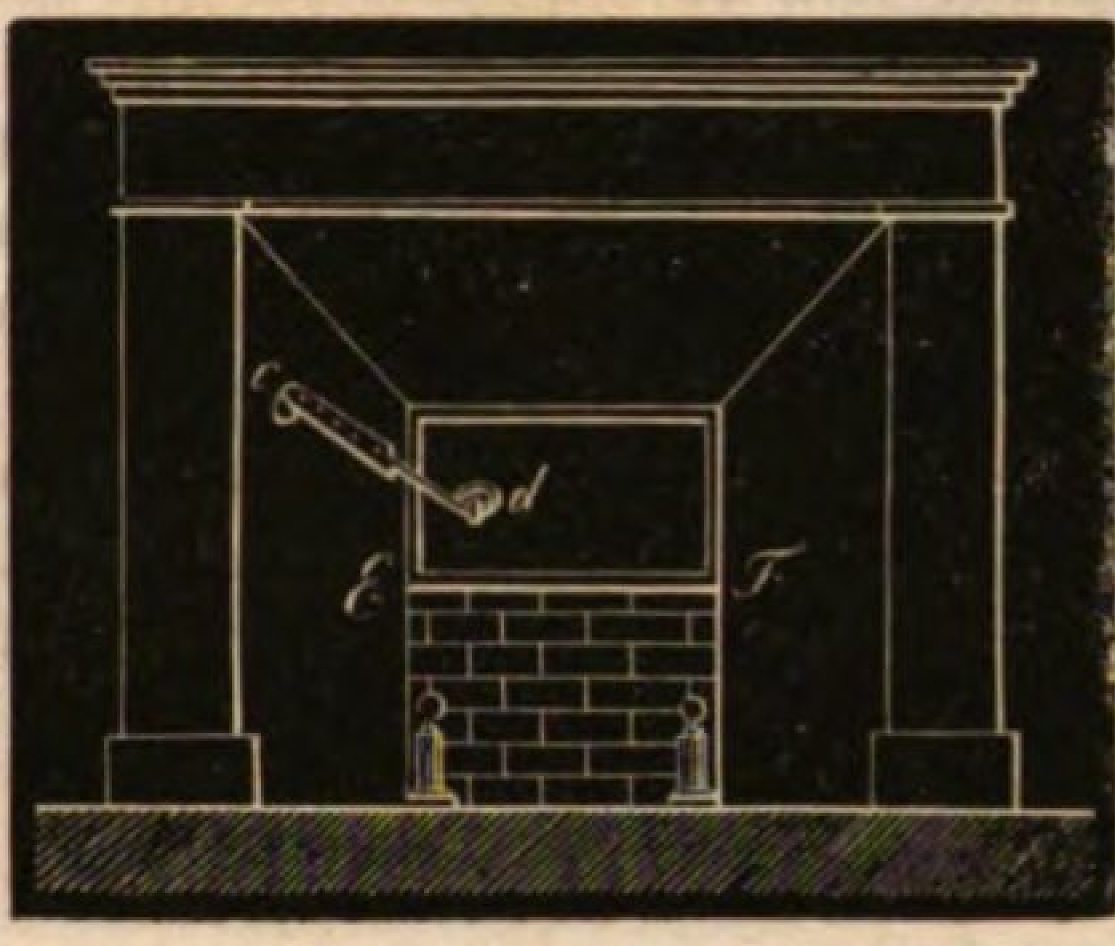
Eine noch vortheilhaftere Einrichtung besteht darin, daß man die Verbindungsöffnung des Herdes mit dem Schornsteine mittelst einer um ihre Axe beweglichen Platte, die man durch eine gezahnte oder mit Löchern versehene Stange feststellen kann, regulirt. Hierdurch hat man den Zug im Kamin in seiner Gewalt und kann auch, wenn das Feuer ausgebrannt ist, den Schornstein ganz abschließen. Auch diese Einrichtung ist von Rumford angegeben, und mit dergleichen Vorrichtung versehene Kamine werden nach ihm benannt.

Umstehende Fig. I. giebt die vordere Ansicht eines solchen Kamins, Fig. II. den Durchschnitt. Die nach dem Schornsteine führende Oeffnung kann durch die Klappe a b verschlossen, oder mehr oder weniger geöffnet werden. Die Drehung erfolgt um die Axe E F in Fig. I. u. b in Fig. II., und wird ausgeführt mit Hülfe der Stange c d, welche bei d ein Charnier und bei c einen Griff oder einen Ring hat. Ihre Feststellung geschieht durch Einhakung eines der Löcher auf einen Stift, welcher an einer bestimmten Stelle einer der Wände befestigt ist.

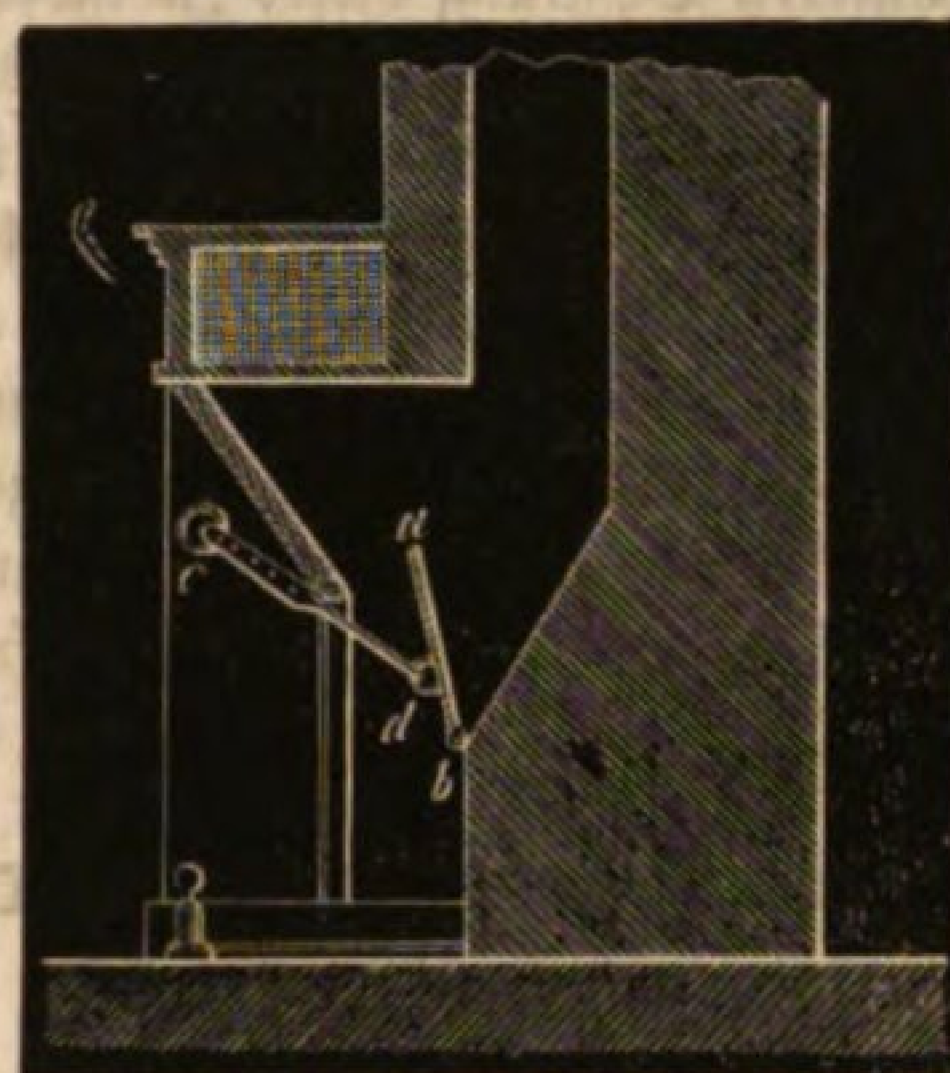
Neuerdings ist der Vorschlag gemacht worden, Brennmaterial in beweglichen eisernen Herden zu verbrennen, welche man, sobald der Zug im Schornsteine

gehörig hergestellt ist, in das Zimmer vorzieht; nach einem anderen Vorschlage soll man die in den Schornstein führende Oeffnung nicht über, sondern hinter dem Feuer anbringen.

I.



II.



Bei den Kaminen bleibt immer der Hauptübelstand, daß die zur Verbrennung erforderliche frische Luft durch die Fugen der Thüren und Fenster eindringen muß, wodurch nothwendig Ströme von kalter Luft veranlaßt werden, oder, wenn diese Fugen nicht die hinreichende Oberfläche haben, Rauch im Zimmer sich verbreiten muß. Ist nämlich das Zuströmen der Luft zum Feuer nicht stark genug, so kann sich der Rauch nicht heben, ohne eine Luftverdünnung im Zimmer hervorzubringen, und er dringt daher in das Zimmer. Nebenbei entsteht auch ein doppelter Luftzug im Schornsteine, aufwärts und abwärts, und wenn auch durch den aufwärtsgehenden Strom ein Theil des Rauches fortgeführt wird, so muß doch durch den herabgehenden ein anderer Theil zurück in das Zimmer gedrängt werden. Franklin hat daher vorgeschlagen, die Luft von außerhalb durch eine unter dem Fußboden liegende Röhre bis an den Kamin zu leiten.

Um eine Ersparniß an Brennmaterial herbeizuführen, auch einen größeren Theil der Wärme zu benutzen, ohne jedoch das Angenehme des frei brennenden Feuers zu verlieren, hat man durch Herstellung einer Circulation der erwärmten Luft, ähnlich wie bei den Oefen, den unmittelbaren Abzug der Luft in den Schornstein zu verhindern gesucht. Es ist dies eigentlich eine Combination von Ofen und Kamin, und daher nennt man auch Einrichtungen dieser Art Kaminöfen oder besser Ofenkamine.

Zum Theil sind dergleichen Combinationen in Spielereien ausgeartet; am zweckmäßigsten ist noch der sogenannte Pennsylvanische oder Franklin'sche Kamin, der von Desarnod und der von Cureaudau. Bei der ersten Art befindet sich zwischen dem Feuer und der mit der Herdsohle in gleicher Höhe liegenden Schornsteinmündung quer durch den ganzen Feuerraum noch ein eiserner parallelopipedischer Kasten, welcher bis auf 2 bis $2^1/_2$ Zoll sich der Decke des Feuerraumes nähert und von der Hinterwand (Schornsteinwand) 3 bis 4 Zoll absteht. Die erhitzte Luft und der Rauch gehen über diesen Kasten hinweg, zwischen der Hinterseite desselben und der Schornsteinwand herab und treten dann in

den Schornstein. Der Kasten selbst ist durch 5 Scheidewände, von denen 3 unten und 2 oben anstoßen, die aber nicht bis zur gegenüberstehenden Wand reichen, in einen auf- und abwärtsgehenden Kanal getheilt, welcher an der einen Seite unten, an der anderen oben mündet. Da nun der ganze Kasten erhitzt wird, so tritt an der unteren Oeffnung dieses Zwischenapparates kalte Luft ein und an der oberen strömt warme Luft aus. — Die zweite Art beruht auf demselben Principe, nur ist der Kasten, in welchen die kalte Zimmerluft eintreten und erwärmt ausströmen soll, unter dem Feuerherde angebracht. An jeder Seite ist eine Eintrittsöffnung, so daß zwei Kanäle entstehen; diese Kanäle gehen dann an der Hinterwand empor und öffnen sich, eine seitliche Biegung machend, an den beiden Seiten des Kamins. — Die dritte Art besteht eigentlich in einem über dem Kaminfeuer angebrachten Ofen, in welchem die erwärmte Luft und der Rauch circuliren, ehe sie in den Schornstein treten, dessen Oeffnung sich an dem oberen Ende dieses aufgesetzten Ofens befindet.

3. Ofenheizung.

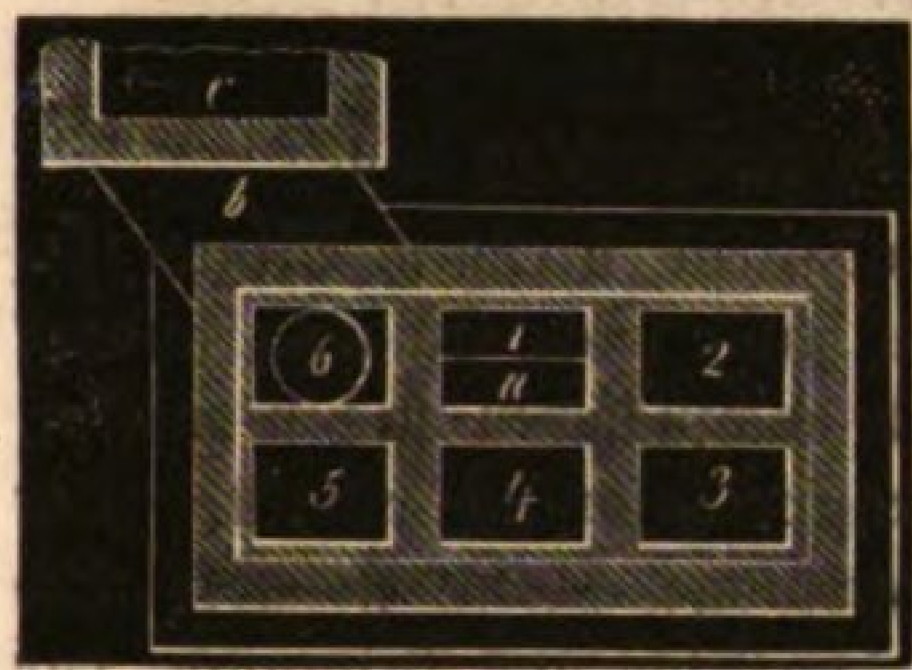
Bei der Ofenheizung bedient man sich des eingeschlossenen oder eines in einem völlig umgrenzten Raume vorhandenen Feuers, durch dessen Wände die Wärme des Feuers abgegeben wird. Die Idee, welche dem Ofen zu Grunde liegt, ist die, jene beim Erwärmen durch offenes Feuer im Kamin entweichende Wärme und die erhitzten Dampftheile desselben mittelst eines im Zimmer befindlichen gegen Rauchaustritt wohl verwahrten Raumes zurück zu halten, um auch mittelst derselben Wärmung und Heizung zu erlangen. Die Nothwendigkeit Holz zu sparen hat demnach zunächst auf die Erfindung dieser Heizung geführt.

In den verschiedenen Ländern, namentlich nach ihrer mehr nördlichen oder südlichen Lage, finden wir sehr verschiedene Bauarten der Stubenöfen. Daß wir in den kälteren Regionen die wirksamsten Schutzmittel gegen die Einwirkung der Kälte zu suchen haben, liegt in der Natur der Sache, denn die Noth und das Bedürfniß sind stets und überall die am meisten gebieterischen Lehrerinnen. So sind denn auch die in Rußland und Schweden gebräuchlichen Einrichtungen vorzugsweise als zweckmäßig bekannt, und deshalb wollen wir auch zunächst die Construction der russischen und schwedischen Stubenöfen in Betracht ziehen.

Der Hauptzweck der Einrichtung der russischen Stubenöfen mußte der sein, eine Erwärmung der Wohnzimmer zu bewirken, die auf die möglichst lange Dauer sich gleichmäßig erhalten läßt. Leichte Oefen aus Materialien, die viel Wärmeleitungsfähigkeit besitzen, die Wärme leicht durchlassen und nicht festhalten, also eiserne Oefen und dergleichen, sind mithin für diese kalten Länder nicht brauchbar. Um Oefen zu erhalten, die viel Wärme in sich aufnehmen und sie nur langsam abgeben, sind starke Massen von Lehm und Thon erforderlich. Daher bestehen die nordischen Oefen aus dicken Kacheln von Lehm oder gebranntem Thone, die durch eine starke Füllung noch mehr Körper erhalten und so ausgefüttert werden, daß sie die Stärke von 7 Zoll und mehr bekommen. In dieser mächtigen Hülle befinden sich verticale Kanäle zur Leitung der erhitzten Luft und des Rauches, deren Anzahl sich nach der Größe des Ofens und Zimmers richtet, und manchmal von 4, 6 bis 12 steigt. Das besonders Eigenthümliche der russischen Oefen besteht aber hauptsächlich darin, daß jeder derselben seine eigene, nur

6 bis 10 Zoll weite Schornsteinröhre hat, daß der letzte Rauchkanal des Ofens immer von oben nach unten geht, — (die Anzahl der Rauchkanäle ist daher immer eine gerade) — und daß der Verschluß des letzten Kanals mit doppelten eisernen Deckeln geschieht, die genau in einander passen und eine Verschließung bewirken, welche viel dichter ist, als die, welche in unseren gewöhnlichen Ofenröhren durch die sich drehende, nicht einmal an den beiden Seiten der Röhre dicht anschließende, eiserne, einfache Klappe hervorgebracht werden kann. Der russische Verschluß wird Gusche oder Wiuschke genannt *).

I.



Nebenstehende Fig. I. giebt einen Grundriß eines russischen Ofens. Aus einem überwölbten Feuerraume a steigt das Feuer in dem Kanale 1 in die Höhe, fällt in 2 wieder herab, steigt wieder in 3, fällt abermals in 4, steigt in 5 und fällt wieder in 6, von wo es durch das Ofenrohr b in den Schornstein c eintritt. Der Verschluß befindet sich bei dem Ofenrohre b und besteht zunächst aus einer viereckigen gußeisernen Platte, Fig. II., die in der Mitte eine runde Oeffnung von 7 bis 8 Zoll Durchmesser und in einem Abstande von $^1/_2$ Zoll einen Hals von einem Zoll Höhe hat, Fig. III. Zwischen diesen Rand passend wird ein gußeiserner, mit einem Griffe versehener Deckel a Fig. IV. auf die Oeffnung gelegt, und über den Rand der Platte greifend ein zweiter Deckel b aufgesetzt.

II.



III.



IV.



Die schwedischen Oefen unterscheiden sich im Wesentlichen von den russischen nur dadurch, daß sie gewöhnlich rund sind, und beinahe bis an die Decke des Zimmers reichen. Der innere Raum ist in drei gleiche Theile getheilt, von denen der mittlere den ganzen Durchmesser nach der Tiefe einnimmt, jeder der beiden Seitenräume aber nochmals mit einer leichten Wand durchschnitten wird, dergestalt, daß dadurch 5 verticale Kanäle entstehen. Der mittlere größere Kanal dient zum Feuerraum, und aus demselben steigen die Flamme und der Rauch in die beiden Nebenkanäle rechts und links, gehen so getheilt in diese herab und steigen in den hinteren Kanälen bis nach Oben, wo sie sich über dem mittleren Kanale wieder vereinigen und aus dem daselbst angebrachten Rohre durch die Decke des Zimmers ihren Ausgang nehmen. Der Verschluß der Röhre wird mittelst eines Schiebers bewirkt, der die Oeffnung in der oberen Decke versperrt. Da dieses Verschließen jedoch bei ihrer Höhe nicht mit der Hand direct geschehen kann, so wird dies mit einer über Rollen laufenden Schnur bewerkstelligt.

Von den russischen Oefen rühmt man, daß bei einem verhältnißmäßig geringen Aufwande von Brennmaterial ein angenehmer Grad von Wärme hervorgebracht werde, der sich lange Zeit hindurch gleichmäßig erhält. Es wird angegeben, daß ein solcher gut construirter Ofen ein Zimmer von 18 bis 20 Fuß im Quadrat, oder einen Raum von 3 bis 4000 Cubikfuß, mit 30 bis 45 Pfund

---

*) Verhandlungen des Vereins ꝛc. in Preußen. Jahrg. 12. 1833. S. 198 ff.

Birkenholz auf 15 bis 16° R. erwärmt und diese Temperatur verhältnißmäßig 24 Stunden hindurch in einem solchen Grade erhält, daß täglich nur eine Einfeuerung nöthig ist, wenn auch die äußere Temperatur bis auf — 20° R. gesunken ist. Hierbei muß man jedoch in Rechnung bringen, daß man in Rußland ganz besonders auf Vorkehrungen Bedacht nimmt, das Eindringen der Kälte zu erschweren: die nach außen sich öffnenden Fenster werden dicht gehalten, wohl gar verklebt, oder man bringt Doppelfenster an, heizt die Corridore und Vorplätze, schließt die Treppe nach dem Boden mit guten Doppelthüren, versieht die Hausthüren mit doppelter Sperrung 2c.

Die schwedischen Oefen scheinen weniger holzersparend zu sein.

Der russische Ofen ist für ein Klima mit anhaltend strengem Winter berechnet, und deshalb wird er in anderen Gegenden nicht leicht Eingang finden; man wird aber von ihm das anzunehmen haben und nachzuahmen suchen müssen, was den örtlichen und klimatischen Verhältnissen entsprechend sich erweist. Der russische Ofenverschluß verdient unsere Beachtung, scheint sie aber noch nicht in wünschenswerther Weise gefunden zu haben, vielleicht aus Besorgniß, daß ein zu zeitiges Verschließen des Rauchrohres das Leben der Bewohner in Gefahr bringen könne. Wir werden indessen im Verfolge dieses Artikels sehen, daß ein hermetischer Verschluß der Heizthür dieselben Vortheile gewährt. Die engen Schornsteine haben ihre Vorzüge schon mehr geltend gemacht, so daß nicht leicht ein neues Gebäude ohne dergleichen erbaut werden dürfte. Man sollte jedoch noch weiter gehen und auch in alten Gebäuden, wo die Umänderung ohne erhebliche Schwierigkeit sich durchführen läßt, von dieser nicht abstehen. Das einmalige Heizen bei den russischen Oefen ist eine große Annehmlichkeit; da man aber bei der großen Masse dieser Oefen lange Zeit vorher heizen muß, ehe dieselben die nöthige Durchwärmung erhalten, kurz nach dem Einheizen schon ein warmes Zimmer zu haben, jedoch eine gewöhnliche Forderung ist: so wird man wenigstens sich den russischen Oefen zu nähern suchen müssen, um wo möglich das Einheizen auf zweimal des Tages zu beschränken.

Am meisten nähert sich in seiner Wirkung den russischen Oefen der von Feilner in Berlin bereits 1801 angegebene und seit 1817 noch wesentlich verbesserte Ofen. Die Brauchbarkeit und Nützlichkeit desselben hat sich überall bewährt. Die Beschaffenheit dieses Ofens wird aus folgender Beschreibung mit Hülfe der beigefügten Zeichnungen deutlich werden *).

Ein wesentlicher Bestandtheil des Feilner'schen Ofens ist ein eiserner Kasten von einer solchen Größe, daß er in dem inneren Raume des Ofens stehen kann, jedoch auf allen Seiten 2 bis 3 Zoll von den Kacheln entfernt bleibt, so daß er diese, wenn er sich ausdehnt, nicht berühren kann. Dieser Kasten nimmt vom Fußboden eine Höhe von 2 Fuß 6 bis 8 Zoll ein, und hat auf der oberen Deckplatte an einem Ende eine runde Oeffnung von 6'' Durchmesser, in welche ein 4 bis 6 Zoll hohes Rohr oder Cylinder gesetzt wird, der unten und oben einen Stand hat, damit er ganz fest anschließt und oben fest zugedeckt werden kann. Durch diesen Cylinder muß sich die ganze Feuermasse durchpressen, um in die Züge des Ofens überzugehen. Hierdurch wird der sehr wesentliche Vortheil erreicht,

---

*) Verhandlungen des Vereins 2c. 2. Jahrg. 1823. S. 119.

daß sich das Brennmaterial vollständig zur Flamme entwickelt, und kein Rauch, der noch brennbare Stoffe enthält, entweichen kann. Da alles Brennbare durch die in dem Cylinder zusammengepreßte Flamme hindurch muß, so wird Alles entzündet und möglichst viel Wärme entbunden, welche bei der Strömung durch die wechselnden Züge den Wänden des Ofens mitgetheilt wird. Es leuchtet hierbei auch ein, daß in den Zügen sich weder Ruß, noch andere Unreinigkeiten absetzen und sie verstopfen können.

Diese zweckmäßige Vorrichtung macht es auch möglich, den Zügen diejenige Einrichtung zu geben, bei welcher sie am meisten wirken. Hat nämlich der Ofen den Umfang von 2′ 8″ und 2′ Quadrat, so können die Züge mit Vortheil so angelegt werden, wie es die Zeichnung lehrt. Man theilt den Ofen durch eine senkrechte Wand von Mauer- und Dachsteinen in zwei Theile, und setzt an diese horizontale Scheidungen an, die eine solche Zahl von Gängen hervorbringen, daß die entwickelte Wärme genöthigt wird, sich durch sie zu bewegen und immer von der einen Hälfte des Ofens in die andere überzugehen, bis sie oben angelangt ist. Die heiße Luft durchläuft hierbei in den Kanälen einen Weg von 25 bis 30′, bevor sie das Rauchrohr erreicht und in den Schornstein kommt; dabei berührt sie die äußeren Wände des Ofens auf einer Fläche von 33 Quadratfuß, hat folglich gute Gelegenheit sich vollkommen an diese abzusetzen und in den zu erwärmenden Raum überzugehen. Ein Uebelstand ist jedoch die Ablagerung von Flugasche in den horizontalen Zügen.

Der Ofen mit dem eisernen Feuerkasten gewährt zugleich den gewünschten Vortheil einer schnellen Ausströmung und Verbreitung der Wärme kurz nach dem erfolgten Einheizen. Da er von allen Seiten frei steht, so wird er unverzüglich stark erhitzt. Vermöge der am Fuße des Ofens angebrachten Oeffnungen tritt die am Fußboden befindliche kalte Luft in denselben ein, wird bei ihrem Emporsteigen nach der 2′ 2″ vom Fußboden angebrachten Oeffnung anfangs mäßig, nachdem der Kasten aber glühend geworden, so stark erwärmt, daß sie bald sehr heiß in das Zimmer einströmt, und diesem schon eine angemessene Wärme mittheilt, wenn auch die Kacheln des Ofens erst lauwarm sind. Auf diese, während des Heizens stattfindende, vorgängige Erwärmung des Zimmers erfolgt aber erst später die eigentliche Durchheizung desselben. Nach $1^1/_2$ Stunden kann die Ofenklappe verschlossen werden, und alsdann nimmt der Kachelofen die angemessene Temperatur an, welche sich auch bei einer Kälte der äußeren Luft von 6 bis 8° R. vom frühen Morgen bis späten Abend so erhält, daß ein zweites Einheizen nicht nöthig ist.

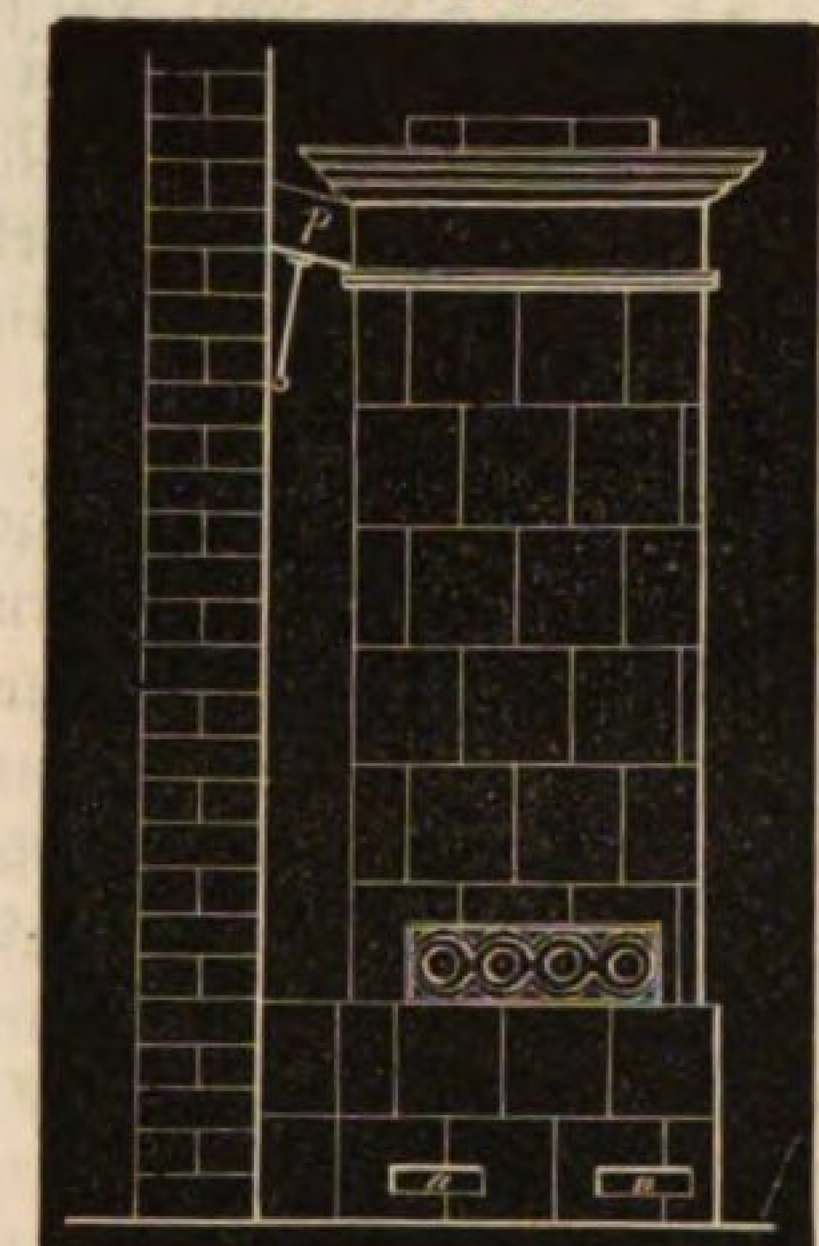
Umstehende Fig. I. Die vordere Ansicht von der langen Seite des Ofens. Am Fuße unten, auch so auf der hinteren Seite, werden 3 Zoll vom Fußboden entfernt zwei Oeffnungen angebracht, 3 Zoll hoch und 8 Zoll breit, durch welche die am Fußboden befindliche kalte Luft in den hohlen Raum des Ofens unter dem eisernen Kasten eintritt, und erwärmt durch die durchbrochene Verzierung, welche 21 Zoll hoch vom Fußboden angebracht ist, ausströmt.

Fig. II. Profil, nach der im Grundriß angemerkten Linie A A.

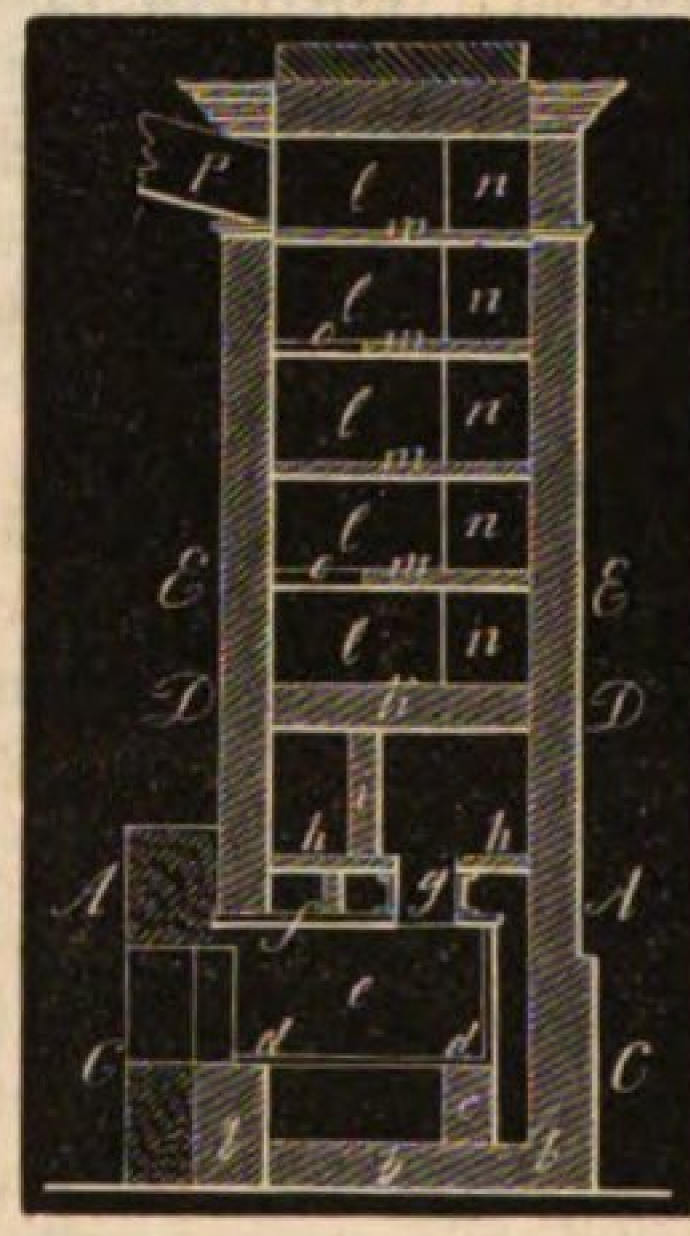
Fig. III. Querprofil, nach der im Grundriß bemerkten Linie B B.

Fig. IV. Grundansicht, nach der Linie C C Fig. II.

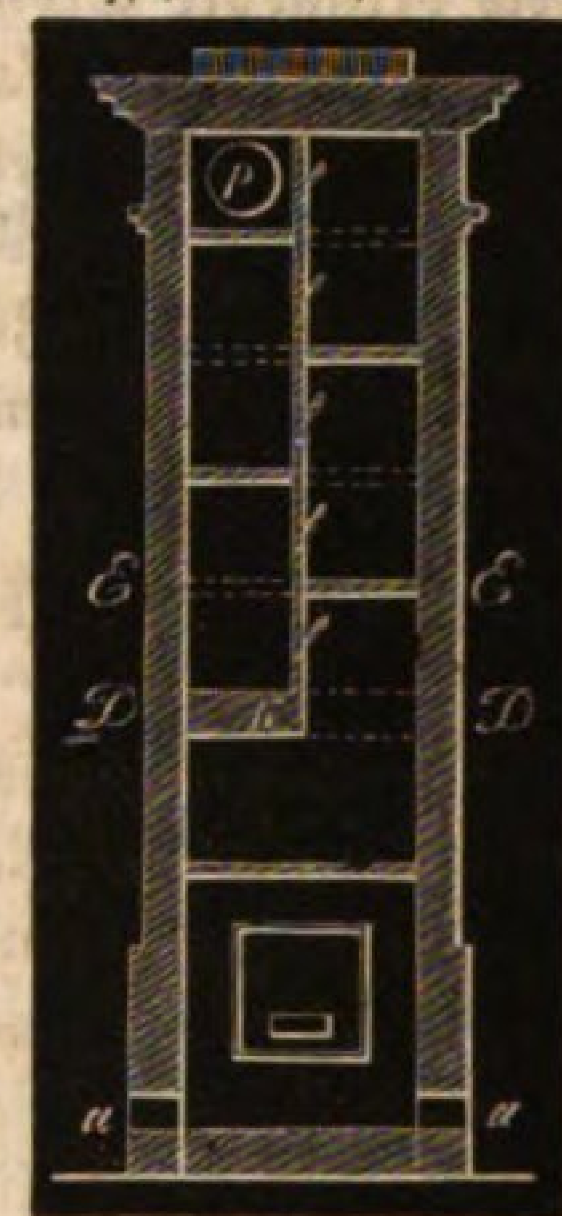
I.
Vordere Ansicht

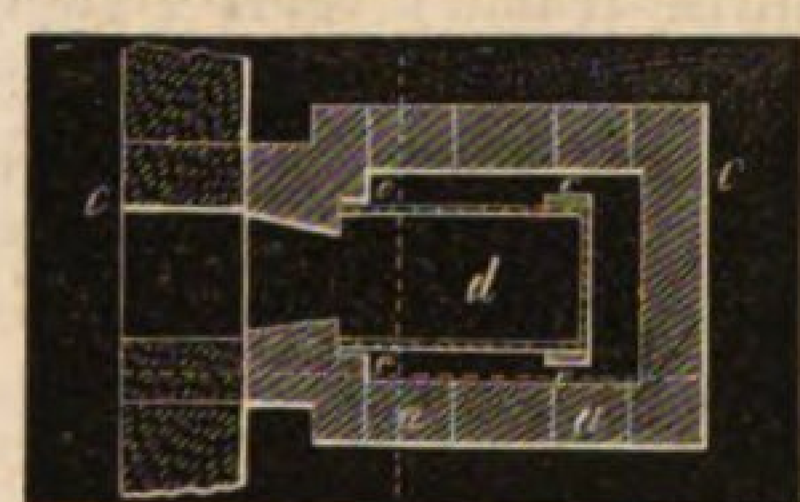


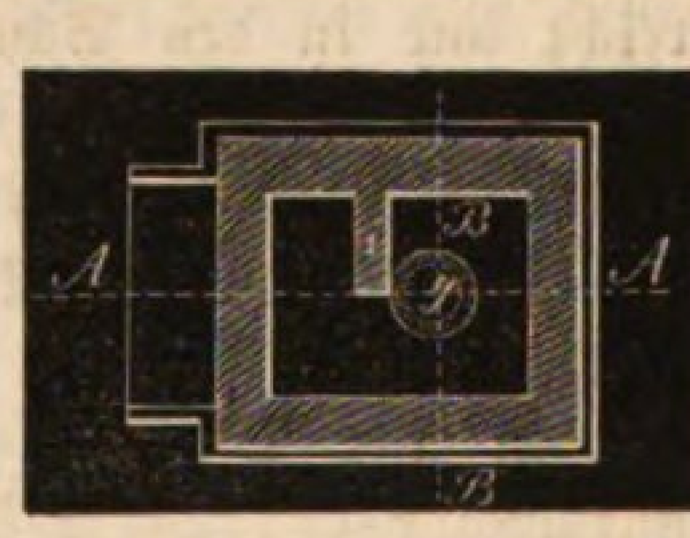
II.
Durchschnitt nach der Linie A A

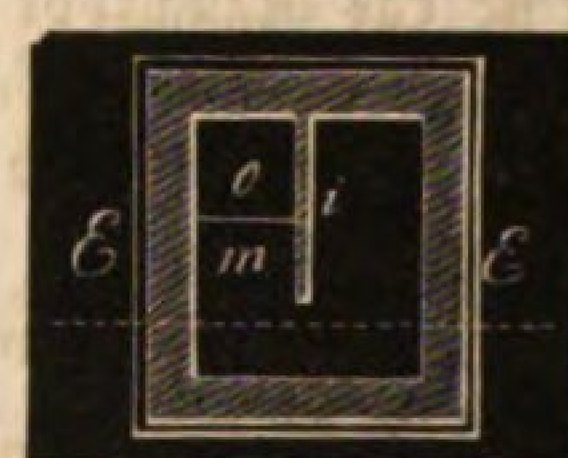


III.
Durchschnitt nach der Linie B B

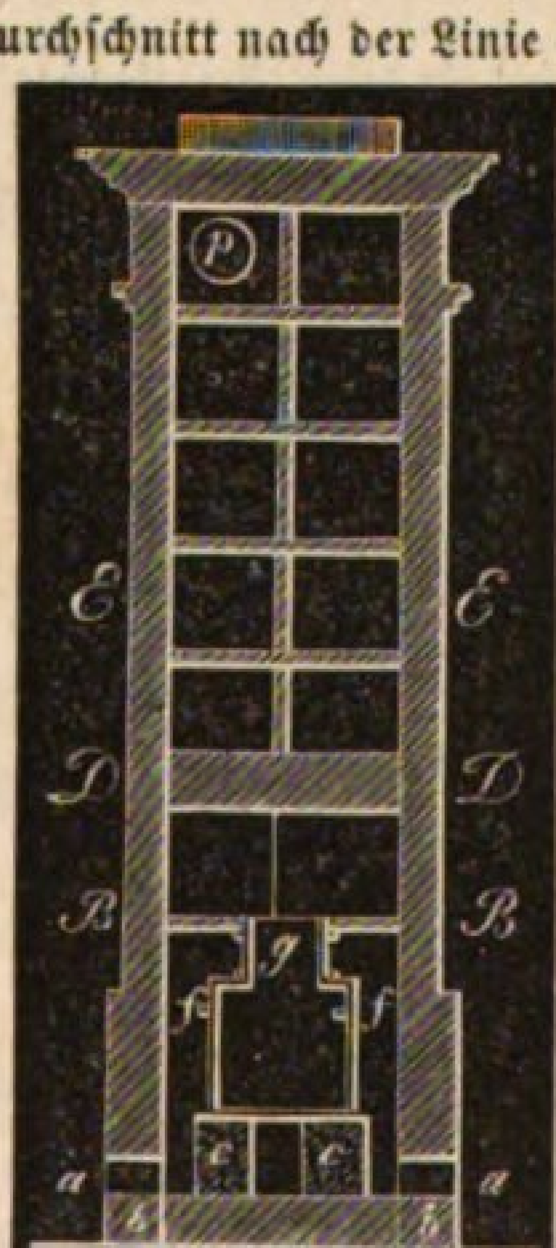








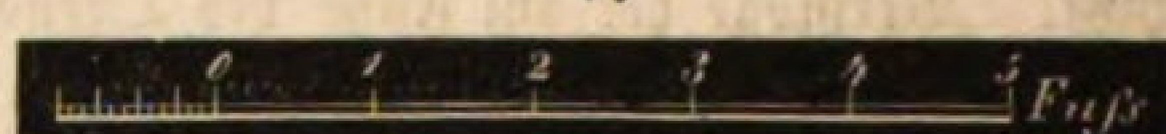
IV.
Durchschnitt nach der Linie C C



Querdurchschnitt der Linie D D



V.



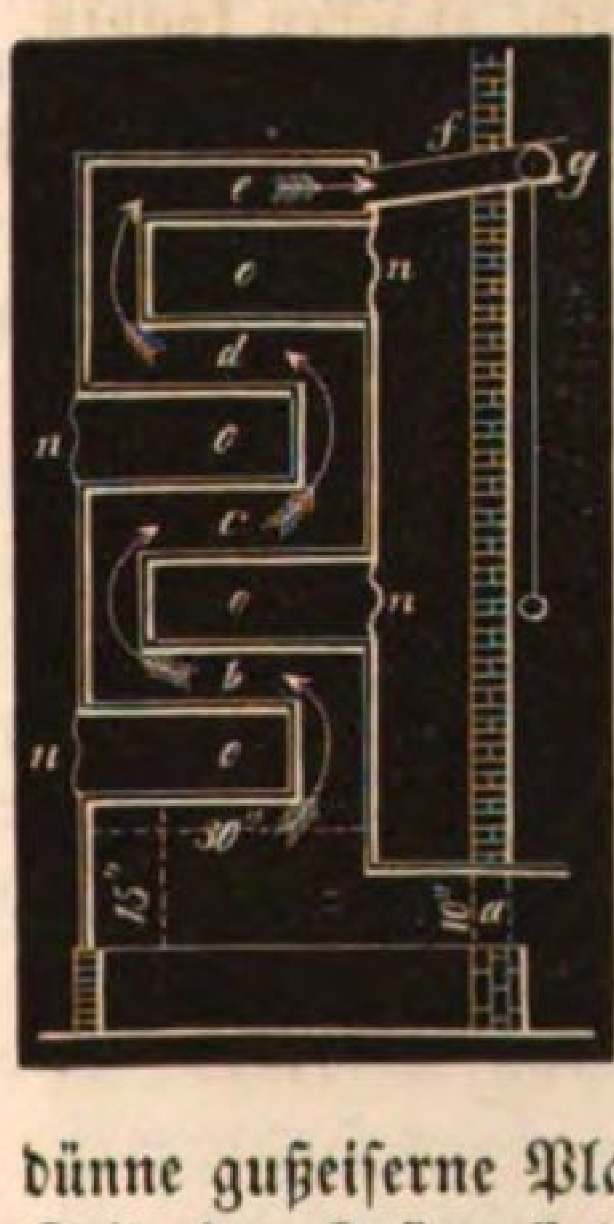
a a die Oeffnung Fig. I., III. und IV., 3 Zoll hoch und 8 Zoll breit. — b b b Boden des Ofens mit Dachziegeln und Lehm, 3 Zoll dick, Fig. II. und IV. — c c Pfeiler, auf welche die eiserne Platte zu liegen kommt, Fig. II. u. III. — d d die Platte mit Falzen, in welche die drei Seitenplatten e zu stehen kommen, Figur II. — f f die obere Deckplatte. — g der Cylinder. — Auf der Deckplatte f stehen Mauerziegel, welche die Decke h h tragen. Sie besteht aus einer Blechtafel, in welcher ein Loch ist, welches um 1 Zoll breiter gemacht sein muß, als der Cylinder g ist, damit es von demselben nicht berührt wird. Eben so muß das Blech von den 3 Zoll dicken Ofenwänden 1 Zoll ringsum abstehen. Auf dieses Blech wird nun mit Dachziegeln eine dichte Decke, welche mit dem Ofen verbunden ist, gelegt und zwar so, daß sie von dem Kranze des Cylinders wenigstens 1 Zoll absteht, wodurch eine Vertiefung entsteht, welche alsdann mit trockenem Sande ausgefüllt werden muß, ohne welche

Vorsicht zu befürchten steht, daß der Cylinder durch seine Ausdehnung den Ofen mit aus einander dehnt.

i Mauerziegel, welche die Scheidewand bilden, auf welcher die Decke k, welche auch aus Mauerziegeln gemacht ist, ruht. (Dachziegel sind nicht anwendbar, da diese durch die Heftigkeit des Feuers zu schnell verbrennen und dann zusammenfallen würden.) — ll eine Wand von Mauerziegeln, welche den Ofen in zwei Theile theilt. - Die Ziegel kommen auf die Decken m zu stehen, sind auch nur so lang, daß jede Oeffnung n n 7 Zoll von der gegenüberstehenden Stirnwand absteht. Diese Decken m werden mit doppelten Dachziegeln übereinander mit Lehm gebildet, so daß hier, erst auf der linken und dann auf der rechten Seite, eine Oeffnung von mindestens 7 Zoll im Quadrat gelassen wird, wie aus der Grundlinie D D und E E zu ersehen ist. Diese Oeffnungen müssen jedesmal nach der Wand hin, an welcher der Schornstein ist, der den Rauch von dem Ofen aufnimmt, angebracht werden. — n die Oeffnung, durch welche das Feuer von der einen Seite des Ofens in die andere geht. — o o Oeffnung in der Decke, durch welche das Feuer in die Höhe steigt. — p p das Rauchrohr, welches 6 Zoll Weite haben muß, und in dem Kanal, in welchen das Feuer zuletzt nicht mehr steigt, angebracht wird.

Aus dieser Beschreibung wird man einsehen können, daß das Feuer aus dem Kasten e durch den Cylinder g geht, und an die Decke k anstößt, von da sich um die Wand i wenden, durch die Oeffnung o in dem Kanal n durchgehen, und sich so bis zum Rauchrohre hin durchwinden muß. Dadurch findet es Gelegenheit, an die vielen Ziegel und starken Wände seine Wärme abzusetzen. Sind die Wände des Ofens an 3 Zoll stark gemacht, so wird er wenigstens 18 Stunden warm bleiben, und wenn zweimal des Tages geheizt wird, nie kalt werden.

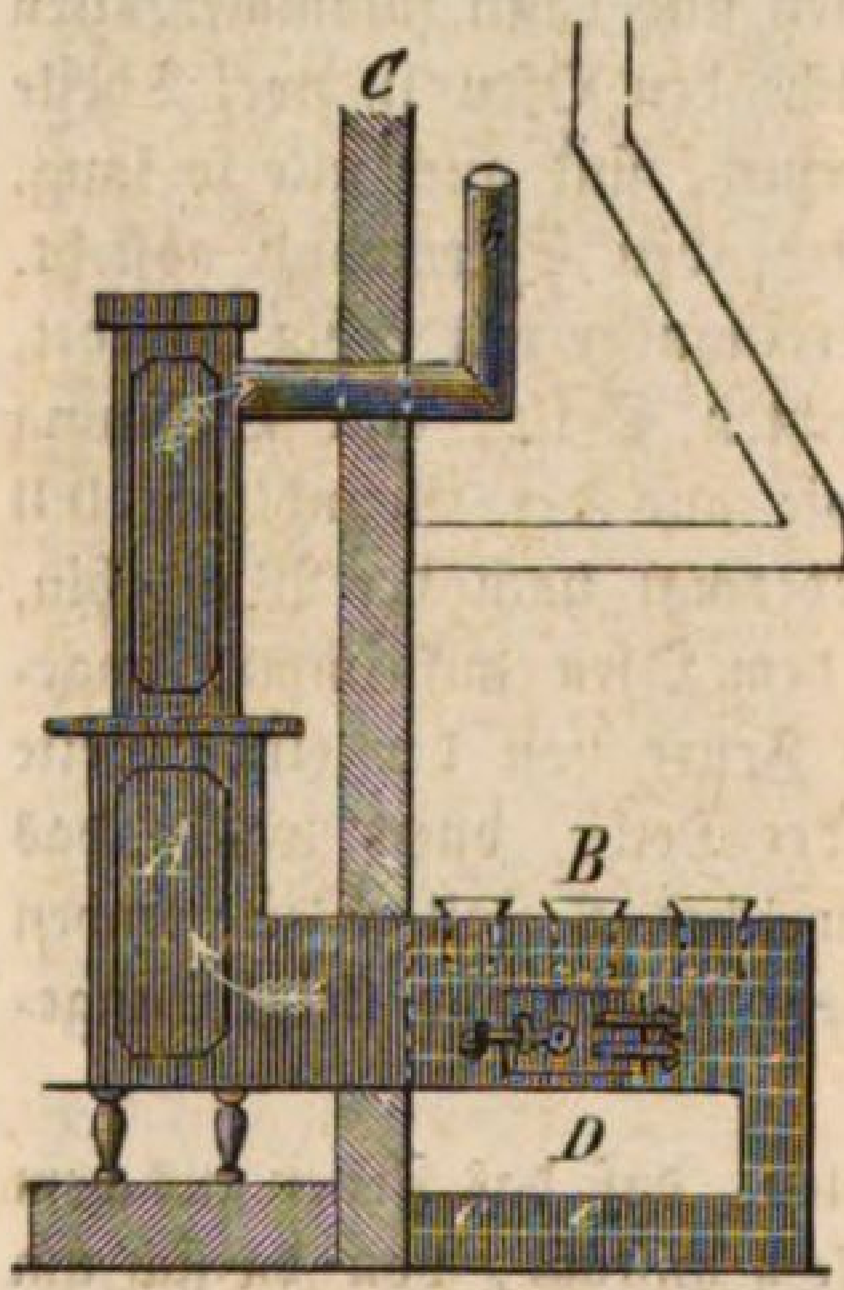
Diese beiden Ofenconstructionen, die russische und Feilner'sche, können wir als Musterconstructionen ansehen. Wir finden sie auch vorzugsweise in Gebrauch im nordöstlichen Deutschland, denn die sogenannten Zug- oder Windkachelöfen sind nichts anderes als leichtere russische Oefen mit 4 verticalen Kanälen. Um mehr Raum für die allgemeinen Verhältnisse zu gewinnen, beschränken wir uns daher auf die Einrichtung der gußeisernen Oefen (Durchsichtsöfen) und die eines sehr vortheilhaften Ofens für Haushaltungen, zumal die Zeichnungen keine ausführlichen Erläuterungen nöthig machen.



Der eiserne Stubenofen steht auf einem mit Fließen gepflasterten Boden und wird entweder von 4 Füßen getragen, oder es ruht, wenn er von außen bei a (s. nebenstehende Figur) geheizt werden soll, die Bodenplatte des Heizkastens mit dem einen Ende in der Mauer und nur das andere Ende wird von 2 Füßen gestützt. Er besteht aus mehreren Kasten b, c, d, e, von denen jeder obere in die Nuten des unteren paßt. Die Räume zwischen den einzelnen Kasten bleiben offen (o, o, o) und befördern die Luftcirculation. Die freien Enden der Kasten werden durch dünne gußeiserne Platten n, n, n, n getragen. An der freistehenden schmäleren Seite der Kasten sind durch eiserne Deckel verschließbare Oeffnungen, um die sich

ablagernde Flugasche zu entfernen. Aus dem obersten Kasten führt ein Rohr von etwa 6 Zoll Durchmesser, versehen mit einer Klappe g, zum Schornsteine.

Einen sehr vortheilhaften Ofen für Haushaltungen, welcher das Wohnzimmer heizt und zugleich als Kochofen dient, stellt nebenstehende Figur dar. Die Einrichtung besteht in einer Verlängerung des Ofenhalses, welche den Kochherd abgiebt. A ist der Stubenofen, b das Abzugsrohr des Rauches, B der an den Ofenhals angebaute Kochherd, D der offene Raum, durch welchen die Luft durch den Rost zum Feuer gelangt. Daß durch Benutzung des Herdfeuers zur Erwärmung des Stubenofens eine Ersparniß an Heizmaterial erreicht wird, versteht sich von selbst *).



Im Vorstehenden sind bereits dem Materiale nach verschiedene Oefen erwähnt worden. Thon und Eisen, letzteres als Eisenblech oder als Gußeisen, sind die gewöhnlichen Materialien. Metalle bewirken eine schnellere Wärmeausstrahlung und Wärmeabsorption in derselben Zeit gegen gebrannten Thon, welcher dagegen die langsamer aufgenommene Wärme gleichmäßiger und längere Zeit in sich hält und daher längere Zeit wärmt. Bei Anlagen von Oefen ist in Bezug auf anzuwendendes Material in Ueberlegung zu ziehen, welcher Wärmeerfolg dem Zwecke der Heizung angemessen sein könne.

Man kann ferner berücksichtigen, wie bei bereits erbauten Oefen, aus dem einen oder dem anderen Materiale bestehend, während einer Heizung die Luftzuführung zu reguliren sein möge, um durch schnellere oder geringere Intensität des Feuers das Verbrennen einer Quantität Holz in Compensation zu bringen. Kleine Oefen von Metall (Kanonenöfen) verstatten keine lebhafte Luftzuführung, weil nicht viel von dem erhaltenen Wärmestoffe in ihren Räumen zurückgehalten werden kann. Sie kann jedoch lebhafter sein, wenn die Wände derselben dünn sind, so daß dieselben um so viel mehr Wärme abgeben können. Größere Oefen von Metall werden durch lebhafte Luftzuführung leicht in größere Gluth versetzt werden können, als wünschenswerth sein wird, wenn sie auch außerdem viele Wärme zurückhalten und daher eine lange ergiebige Wärmequelle abgeben werden. In gleichem Verhältnisse der Erwärmung stehen große thönerne Oefen mit eisernen Heizkästen (als Feuerräume) und Aufsätzen von gebranntem Thone, welche hohl sind und viele erwärmte Luft im Inneren zurückhalten. In vollständigen Thonöfen muß die Verbrennung lebhaft sein und nur so lange dauern, als zur Erhitzung der Ofenmasse nöthig ist, eine Operation, welche nach längeren oder kürzeren Zwischenräumen zu wiederholen ist, während eiserne Oefen eine langsame, aber anhaltende Verbrennung erheischen.

Oft kann ein großes Feuer, mit lebhafter Luftzuführung verbrannt, mehr

*) Wagner, chemische Technologie. 1853. S. 530.

Wirkung verursachen, als einige kleinere, unter gewöhnlicher Zuführung der Luft abgebrannte. Ein kleines Feuer in großen, massiven Oefen wirkt gewöhnlich gar nicht zur Heizung. Kleinere Oefen von Thon sind am besten mit starken Feuern und starker Luftzuführung zu erheizen.

Eiserne Oefen sind kostbarer beim Ankaufe; dünne derselben verbrennen leicht in einzelnen Theilen; beide behalten jedoch einen gewissen Metallwerth. Thonöfen sind, wenn dieselben nicht zu künstlich construirt werden, wohlfeiler als jene, halten länger als dünne Eisenblechöfen, wirken jedoch in gleichen Zeiten mit gleich starken Feuern nicht soviel wie jene. Beide Arten von Oefen sind mit Rosten einzurichten, wenn dieselben mit Steinkohlen oder Torf geheizt werden sollen. Neuerdings bringt man zwei Roste an in einer Entfernung von 8 bis 10 Zoll übereinander, von denen der untere enger ist. Während das Feuer auf dem oberen Roste brennt, fallen die kleinen Kohlenstückchen auf den unteren Rost, verbrennen dort gänzlich und ihre Asche fällt in den Aschenkasten. Außerdem wird die zu dem Feuer tretende Luft durch den unteren Rost schon vorgewärmt.

Eiserne Oefen sind theils gegossen aus einem Stücke oder aus mehreren zusammengesetzt, oder sie bestehen aus eisernen Platten. Erstere Art sind **Kanonen-** und **Pyramidenöfen**. Die letztere Art wird aus einzelnen Platten zusammengeschmiedet. Bei **Zusammenarbeitung** beider Arten von Oefen hat man auf die Ausdehnung durch Erwärmung und auf die Zusammenziehung durch Erkältung Rücksicht zu nehmen. Oeftere Ausdehnung und Zusammenziehung bewirkt Auseinandergehen der Nieten an denselben. Die aus Platten zusammengesetzten Oefen werden in ihren Fugen mittelst guter in großer Hitze wenig an Volumen abnehmender Kitte zusammenzuarbeiten sein.

Eisernen Oefen macht man den Vorwurf, daß sie einen unangenehmen Geruch verursachen und die Luft austrocknen. Der Geruch wird sich einstellen, wenn das Metall zu sehr erhitzt wird, indem dann die Staubtheilchen, welche in der Luft enthalten sind, durch die Berührung mit dem Metalle eine chemische Veränderung erleiden. Die Austrocknung der Luft scheint nur in der Einbildung stattzufinden, da doch in dem größten Theile Europas dergleichen Oefen im Gebrauche sind, ohne daß man davon nachtheilige Folgen verspürt. Daß eiserne Oefen unbequem werden können wegen der ungleichen Temperatur, ist indessen nicht in Abrede zu stellen.

Alle Oefen bekommen ein **Einheizeloch** und eine **Abzugsöffnung** für den Rauch. Ob das Einheizeloch im Inneren des Zimmers oder in besonderen Vorräumen (Vorgelege, Kamine) zweckmäßiger angebracht werde, darüber sind die Ansichten getheilt. Ist das Einheizeloch im Inneren, so gewährt dies den Vortheil, vom Zimmer aus die Heizung reguliren zu können; noch wichtiger ist aber die durch den Zug beim Einfeuern bewirkte Ventilation, die für die Gesundheit der Bewohner durchaus erforderlich ist und beim Einheizen von Außen durch besondere Ventilatoren bewirkt werden muß. Diese Vortheile scheinen gegen die Vorwürfe, daß Zug im Zimmer entstehe, Rauch eintreten könne und beim Einheizen und Ausräumen der Asche leicht Beschmutzungen des Zimmers herbeigeführt würden, überwiegend zu sein. Daß durch das Einheizen von Innen ein größerer Wärmeverlust bedingt werde, als durch das von Außen, indem fortwährend warme Zimmerluft durch den Ofen fortgeführt und kalte von Außen herbeigezogen werde, ist nicht begründet.

Die Abzugsöffnung des Rauches am Ofen im Zimmer ist häufig mittelst einer Röhre mit dem Schornsteine verbunden, wenn der Ofen nicht unmittelbar an die Wand gebaut ist. Wo dieselbe angebracht ist, findet man im Innern der Röhre ein von außen zu bewegendes, drehbares oder schiebbares Ventil oder Register, mittelst dessen die eiserne Rauchröhre völlig oder nur zum Theil abgeschlossen werden kann, theils um den Luftzutritt zur Einheizeöffnung zu reguliren, theils um den Austritt erwärmter Luft nach dem Abbrennen des Feuers aus dem Innern des Ofens zu verhindern.

Da durch ein zu frühzeitiges Schließen des Registers bei Einheizung von Innen Gefahr für das Leben der Bewohner entsteht in Folge der Entwickelung von Kohlenoxydgas, so wurde am 25. Decbr. 1831 in Berlin eine hierauf bezügliche Preisaufgabe gestellt *). Diese Aufgabe ist durch hermetisch verschließbare Thüren vor der Einheizungsöffnung vollständig gelöst. Der Thürrahmen ist tief und hat außen einen breiten abgeschliffenen Rand. Im Inneren des Rahmens ist eine gewöhnliche eiserne Ofenthür, außen eine zweite über den Rand übergreifende starke metallene Thür, welche da, wo sie auf den Rand zu liegen kommt, ebenfalls genau abgeschliffen ist. Diese Thür wird fest gegen den Thürrahmen gepreßt und dadurch der hermetische Verschluß bewirkt. Ein Schließen des Registers ist alsdann nicht mehr erforderlich, und wird hierdurch zugleich dasselbe erreicht, wie durch die Gusche des russischen Ofens. Man kann eine solche Thür zu jeder Zeit schließen ohne Nachtheil für die Bewohner, und die Wärme wird so gut zusammengehalten, daß man in der Regel 24 Stunden nach dem Einheizen noch glühende Kohlen im Heizkasten vorfindet.

Oefen bringt man nicht zweckmäßig in der Nähe der Thüre an, weil um dieselben immer die größere Wärmeerhöhung vorhanden ist und daher bei der Oeffnung der Thüre verhältnißmäßig mehr Wärme hinaustreten wird, als wenn dieselbe entfernt vom Ofen gelegen ist. Zuweilen bringt man die Oefen in nischenartigen Vertiefungen in den Wänden an; aber zu tief gelegene Oefen geben zu viel von ihrer Wärme an die Wände ab, strahlen weniger in das Zimmer und bewirken dadurch weniger gute Heizung.

Der Luftzug in den Oefen muß so beschaffen sein, daß alles eingelegte Holz im Verhältnisse der beabsichtigten Wirkung schnell und gänzlich ohne zu verrauchen verbrannt werde.

Nicht wenig förderlich für gutes Brennen ist die Lage der Hölzer im Feuer. Ein Aufbau von Holz, welcher den Luftzutritt abdämmt, bringt sehr unvollkommene Resultate der Verbrennung hervor. Ein Feuer mit kreuzweis übereinander gelegten Hölzern, die nicht zu weit von einander entfernt liegen, wird die möglichst größte Hitze entwickeln.

Die innere Weite des Ofens muß der Größe des darin befindlichen Feuers angemessen sein, und dieses wieder der Größe des zu erheizenden Raumes. Da das Feuer bei der Berührung intensivere Wärme mittheilt, so leuchtet ein, daß z. B. ein großer Ofenkasten mit kleinem Feuer wenig nützen würde. Eben so wenig vortheilhaft und körperlich angenehm wird ein großer, verhältnißmäßig geheizter Ofen in kleinen Zimmern sein, und umgekehrt ein kleiner in einem sehr großen.

*) Verhandlungen des Vereins ꝛc. Jahrg. 12. 1833. S. 208.

Bei Berechnung der Quantitäten Wärme, welche die Oberfläche eines Ofens ausstrahlen muß, um ein Zimmer bis zu einer gegebenen Temperatur auf angemessene Weise zu heizen, hat man in Obacht zu nehmen, wie viel vom verbrennenden Holze (im Ofen) in den Schornstein als unbenutzte Wärme gesendet wird. Dies ist bei gewöhnlichen Oefen etwa $1/4$ des Ganzen. Nur bei sehr langsamem aber vollkommenem Verbrennen des Holzes in sehr gut eingerichteten Oefen dürfte sich dieser Verlust auf $1/5$ reduciren. Diese Oefen werden jedoch nur langsam anheizen. Nach Wagemann *) sollen 56 Quadratfuß Oberfläche eines thönernen Ofens hinreichen, um in jeder Minute 96 Cubikfuß Luft auf 20° C. oder 67 Cubikfuß auf 25° C. zu erhitzen. Nach Muncke **) giebt 1 Quadratfuß geheizte Metallfläche 152,3 Cubikfuß Luft in einer Minute die Temperatur von 25° C., wenn dieselbe Metallfläche in 1 Sec. 0,5 Cubikfuß Wasserdampf schafft. Nach Péclet ***) kann man erfahrungsgemäß bei Oefen annehmen, daß jeder Quadratmeter Oberfläche Blech in der Stunde 1600 bis 2000 Wärmeeinheiten durchgehen läßt, Gußeisen 4000 bis 5000, gebrannter Thon 1500 bis 1800. Im Allgemeinen müssen mithin Thonöfen mehr Heizoberfläche haben, als die eisernen, zumal sie auch mehr Masse besitzen. Bei gleicher Wandstärke würde ein eiserner Ofen die Wärme ungefähr 33 Mal schneller durchlassen und an das Zimmer absetzen, als ein thönerner.

In Betreff der äußeren Beschaffenheit der Oefen ist das Ausstrahlungsvermögen (vergl. Art. Wärme) zu berücksichtigen. Eine rauhe, gerippte, schwarze Oberfläche ist einer ebenen und blank polirten vorzuziehen. Dies gilt nicht nur von den eisernen Oefen, sondern auch von den Thonöfen, bei welchen unglasirte Kacheln den Vorzug verdienen. Die größere Dauerhaftigkeit glasirter Kacheln scheint zwar überwiegend zu wirken, dann sollte man sich jedoch nicht durch äußere Rücksichten für eine weiße Glasur bestimmen lassen.

Die Verbesserung der Oefen kam bereits 1552 auf dem Reichstage zu Regensburg zur Berathung, und 1557 wurde von demselben dreien Individuen: Fröhner, Ulrich Kundemann und Konrad Zwicke ein Privilegium ertheilt über die Kunst, durch welche sie beim Heizen der Stubenöfen Holz zu ersparen glaubten. Franz Keßler machte 1618 Vorschläge zu holzersparenden Oefen in einer besonderen Schrift. Papin erfand 1681 einen Kochofen, in welchem mit wenig Holz mehrere Speisen auf einmal gekocht werden konnten.

Im 18. Jahrhunderte beschäftigten sich wissenschaftlich mit dieser Aufgabe: Lambert, Crawford, Cavallo, Franklin, Scheele, Marat, Rumford u. A. Die Akademie der Wissenschaften zu Berlin setzte 1764 einen Preis aus auf verbesserte Oefen. Joh. Paul Raumers gewann denselben. Sehr gründliche Versuche stellte der preußische Feuerbauinspector Heinrich Jagdmann an. Seine durch mehrere Schriften bekannt gemachten Resultate veranlaßten 1788 die Niedersetzung einer Commission, um die anerkannten Vorzüge weiter zu verbreiten, wozu 30000 Thlr. Hülfsgelder angewiesen wurden. Auch die

*) Ueber die Heizung mit erwärmter Luft, in Verhandlungen des Vereins 2c. Jahrg. 6. Berlin 1827. S. 96.

**) Gehler's phys. Wörterb. Neue Bearb. Bd. V. S. 182.

***) A. a. O. S. 279.

Schrift von Andreas Jakob Hecker „Grundsätze über die Anwendung und Regierung des Feuers 1788" hat viel beigetragen richtige Begriffe über diesen Gegenstand zu verbreiten. Aus derselben Zeit ist auch noch anzuführen: Anweisung holzersparende Oefen, zu Stuben-, Pfannen-, Brat- und Kesselfeuerungen anzulegen, von Joh. Wilh. Chryselius. Merseburg 1790; Abhandlung von holzersparenden Kochherden, Koch- und Bratöfen, Waschkesseln, von J. H. Wagner 1789 bis 1803 in 3 Heften; Abhandlungen über Stubenöfen, Kochherde und Kochöfen von G. F. Werner, Hamburg 1797; die Holzsparkunst von J. H. Sachtleben, Quedlinburg 1790.

Aus dem jetzigen Jahrhunderte führen wir an: Rommerdt, Anweisung Stubenöfen und Kochöfen zu bauen, Eisenach 1803 und in 2. Auflage 1804; Grimm, Archiv der Brennmaterialersparniß für Baumeister, Mauermeister und Töpfermeister, 1805; v. Werneck, phys. chem. Abhandl. über die deutschen Hölzer, Gießen 1808; K. Leuchs, vollständige Feuerungskunde, Nürnberg 1827; Wimmer, über Erwärmung der Menschenwohnungen, München 1828; Matthäy, der Ofenbaumeister und Feuermechanist, Ilmenau 1830 u. Weimar 3. Aufl.; Fournel, die zweckmäßigsten, holzersparendsten und elegantesten Zimmeröfen und Zimmer-Kamine, deutsch von Alex. Schultz, Weimar; Anleitung zum Bau des russischen Stubenofens, entworfen von Engel, herausgegeben von C. Herrlich 1821.

4. Kanalheizung.

Die Kanalheizung, — vielleicht die älteste Heizmethode für Wohnungen — besteht darin, daß unter dem Fußboden des zu erwärmenden Raumes Kanäle angebracht werden, in welchen der Rauch des Feuers und die erhitzte Luft fortgeführt werden. Die hierdurch erwärmten Kanäle wirken wieder erwärmend auf die Luft des zu erwärmenden Raumes. Da diese Methode eine sehr unvollkommene ist, so sei hier nur erwähnt, daß man dieselbe wohl nur noch in Gewächshäusern findet. Wie feuergefährlich sie übrigens ist, dafür diene als Beleg, daß zur Zeit der französischen Herrschaft in Kassel ein Schloß niederbrannte, und daß man dies lediglich der in demselben angebrachten Kanalheizung zuschrieb.

5. Luftheizung.

Während man bei der Kanalheizung gewissermaßen den Schornstein durch die zu erwärmenden Räume leitet, wird bei der Luftheizung, bei welcher in gleicher Weise der eigentliche Ofen oder Feuerherd in einem Gewölbe oder in einem Zimmer sich befindet, welches tiefer liegt, als die zu erwärmenden Räume, nur die durch den Heizapparat oder Ofen erwärmte Luft aus seiner Umgebung, oder indem man sie durch denselben durchströmen läßt, zur Erwärmung gebraucht.

Die Idee der Luftheizung ist bereits bei den Römern zur Zeit des Seneca *) und im Mittelalter bekannt gewesen. In dem Schlosse Marienburg in Preußen **) und in dem alten Rathhause zu Lüneburg ***) waren Luftheizungen

*) Busch, Geschichte der Erfindungen. Bd. X. S. 82.

**) Das Schloß der deutschen Ritter in Marienburg, von Büsching. 1823, und Verhandl. des Vereins rc. Jahrg. 9. 1830. S. 41.

***) Verhandl. des Vereins rc. Jahrg. 9. S. 57.

angebracht. Sie findet sich wieder in denjenigen ländlichen Wohnungen des Nordens, wo die unteren Wohnzimmer des Besitzers durch eine Fallklappe mit den oberen Schlafräumen in Verbindung stehen, welche des Abends zur Hinaufleitung der erwärmten Luft des Zimmers geöffnet wird. Dieselbe Idee liegt den (vergl. Abschnitt: Kaminheizung dieses Art.) Kamineinrichtungen von Franklin, Desarnod und Eureaudau zu Grunde; auch bei den Feilner'schen Oefen (vergl. Abschnitt: Ofenheizung) ist sie zur Anwendung gekommen.

Die Heizung mit besonderen Heizkammern, die in einem Souterrain liegen, wurde indessen wohl zuerst wieder und zwar in verbesserter Weise 1792 durch Herrn Strutt, in Belper *), in seiner Maschinenspinnerei ausgeführt. In Frankreich scheint Eureaudau zuerst eine solche Heizung in einer Porzellanfabrik zu Paris eingeführt zu haben **). In Berlin wurde zuerst durch Schinkel 1817 diese Heizung zur Anwendung gebracht in dem Palais des Prinzen Friedrich von Preußen.

Die Hauptheile der Einrichtung einer Luftheizung sind: der Ofen, die Heizkammer, die Vorrichtung zur Zuleitung der kalten Luft und die Kanäle für die warme Luft.

Der Ofen ist der wesentlichste Theil und seine Zweckmäßigkeit ist abhängig von dem Materiale, von der Form, von der Größe und der inneren Einrichtung desselben.

Als Material würden sich gute Wärmeleiter am besten eignen. Gußeisen dürfte für den Feuerkasten am zweckmäßigsten sein.

Bei der äußeren Form hat man darauf zu sehen, daß die Bewegung der sich erwärmenden Luft in ihrer Richtung von unten nach oben auf allen Seiten gleichmäßig und ungehindert erfolgen kann. Die beste Form wäre in dieser Beziehung die eines einfachen Cylinders oder Parallelepipeds mit gewölbter Decke. Besser ist jedoch die Einrichtung, einen Feuerkasten zu wählen so groß, als er gerade zur Heizung nöthig ist, und diesen mit einem Systeme von horizontalen oder verticalen Röhren zu verbinden, durch welche der Rauch hindurchzieht und in denen er seine Wärme absetzt. Den Feuerkasten und die ersten Kanäle macht man von Gußeisen, für die letzten Röhren ist aber Eisenblech vorzuziehen, weil es ungleich schneller erwärmt wird.

Die Größe des Ofens muß sich immer nach der Menge der Luft richten, welche mittelst desselben innerhalb einer gewissen Zeit um eine bestimmte Anzahl von Graden erwärmt werden soll. Nach Wagenmann reicht 1 Quadratfuß Oberfläche aus, ohne Ueberheizung des Ofens, 6 Cubikfuß Luft in jeder Minute, selbst bei strenger Kälte, auf + 16° R. zu erwärmen.

Bei der inneren Einrichtung des Ofens sind selbstredend die allgemeinen Principien für die Feuerungen maßgebend. Da es Zweck des Ofens ist, die erhaltene Wärme an die Luft in der Heizkammer abzugeben, so hat man statt einfacher cylindrischer oder parallelepipedischer Oefen Doppelcylinder angewendet, und die Heizkanäle in den Zwischenraum zwischen beiden Cylindern geführt, bei letzteren aber in dem hohlen Raume senkrechte Cylinder angebracht, welche sich

---

*) Sylvester, the philosophy of domestic economy, Nottingham 1819.

**) Hermbstädt, Bülletin. Bd. V. S. 356.

unten und oben in der Heizkammer münden und durch die Flamme umspielt und erhitzt werden. In dem Strutt'schen Ofen war die Einrichtung der Art, daß die kalte Luft zuerst mit den vom Feuer entferntesten Theilen in Berührung trat und von da den erhitzteren Theilen zugeführt wurde. Eine Zeichnung eines Luftheizofens folgt weiter unten.

Bei der Heizkammer ist ebenfalls das Material, die Form und die Größe zu berücksichtigen, außerdem aber muß noch darauf Bedacht genommen werden, daß der Wärmeverlust so viel wie möglich verringert werde.

Das beste Material sind gebrannte Steine. — Die Form richtet sich nach der des Ofens. — Die Heizkammer umgiebt den Ofen nur in der für den Luftstrom nöthigen Entfernung, damit dem Ofen von der Luft so viel als möglich Wärme entzogen werde. Die Entfernung an den Seitenwänden braucht nur 3 bis 4 Zoll zu betragen, das Gewölbe der Kammer führt man jedoch 3 bis 4 Fuß über der Ofendecke hinweg. Um nothwendig werdende Reparaturen am Ofen bequemer ausführen zu können, führt man die Wände der Heizkammer in einzelnen Bogen aus, die man zusetzt, aber leicht wieder öffnen kann.

Wenn die Heizkammer nicht in einem Locale steht, welches zu gleicher Zeit durch dieselbe geheizt werden soll, so hat man bei der Anlage darauf zu sehen, daß so wenig als möglich Wärme durch die Wände verloren gehe. Das sicherste Mittel ist eine innerhalb der Hauptwand der Heizkammer aufgeführte dünne Wand, welche durch eine Luftschicht von der ersteren getrennt ist.

Die Vorrichtung zum Zuführen kalter Luft zur äußeren Fläche des Ofens besteht einfach in spaltenförmigen Oeffnungen in den Umfassungsmauern am Fuße des Ofens in der ganzen Ausdehnung desselben mit Ausnahme der Seite, welche das Einheizeloch enthält. Diese Oeffnungen sind durch eiserne Klappen verschließbar, um den Luftzutritt entweder ganz abzusperren, wenn das Feuer erloschen ist, oder um denselben während der Heizung zu reguliren.

Bei den Kanälen für die warme Luft ist wiederum zu berücksichtigen das Material, die Form, die Größe und die Sicherung gegen den Wärmeverlust, außerdem aber ist die Leitung derselben ein Gegenstand von der größten Wichtigkeit.

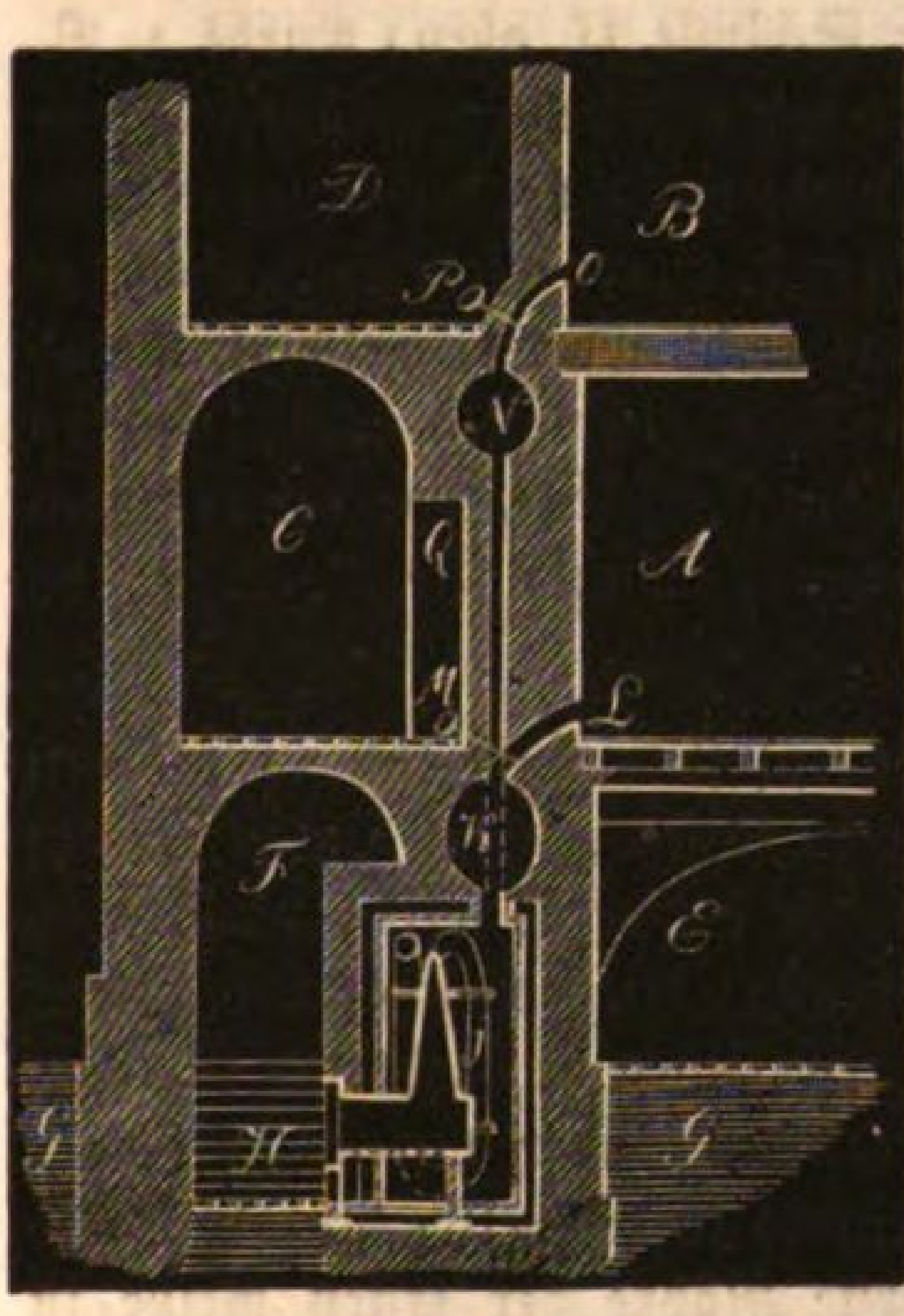
In Betreff des Materials gilt im Allgemeinen dasselbe, was bei den Heizkammern gesagt worden. Wo es möglich ist, verdienen gebrannte thönerne Röhren jedoch den Vorzug vor Steinen. — Die beste Form ist die runde, in sofern sie bei der geringsten Wandfläche den größten Raum einschließt. Viereckige gemauerte Kanäle müssen wenigstens inwendig möglichst glatt verputzt und an den Ecken und Windungen gut abgerundet werden. — Die Weite der Kanäle richtet sich nach der Luftmenge, welche sie in einer bestimmten Zeit liefern sollen, und nach der Geschwindigkeit des Luftstromes in denselben. Es gelten hier dieselben Gesetze wie bei den Schornsteinen (vergl. diesen Abschnitt in diesem Art.). Wir bemerken nur noch, daß sich aus der Weite des Kanales für die warme Luft die Weite der Heizkammer bestimmen läßt. Für den einfachen Ofen scheint das beste Verhältniß zu sein, wenn man die Durchschnittsfläche des Zwischenraumes rings um den Ofen doppelt so groß macht, als die Durchschnittsfläche des Wärmekanals. — Die Sicherung der Wärmekanäle gegen Wärmeverlust geschieht in derselben Weise wie bei der Heizkammer, wenigstens sollte dies bei den Hauptkanälen nicht vernach-

lässigt werden. Wo die Kanäle mit geheizten Räumen in Berührung kommen, ist keine solche Vorkehrung nöthig.

Die zweckmäßige Leitung ist der schwierigste Punkt bei Anlage einer Luftheizung. Wenn die Heizung im Souterrain ist, wie es bei größeren Anlagen immer der Fall sein sollte, und wenn das Souterrain eine hinreichende Höhe hat, so ist es das Beste, die Hauptkanäle für die warme Luft im Souterrain selbst zu führen. Man leitet sie auf gemauerten Bogen in beinahe horizontaler, nur wenig steigender Richtung an der Mittelwand, oder, wo diese fehlt, mitten unter dem Gewölbe entlang, und führt die Wärmekanäle für die einzelnen Zimmer unmittelbar aus dem Hauptkanale senkrecht durch die Wände hinauf. Die Wärmekanäle läßt man am besten unmittelbar über, oder doch nur in geringer Entfernung von dem Fußboden in der Zimmerwand ausmünden. Eine Steigung von 1 Zoll auf 2 F. ist bei den Kanälen hinreichend, um der Luft die freie Fortbewegung in denselben zu gestatten.

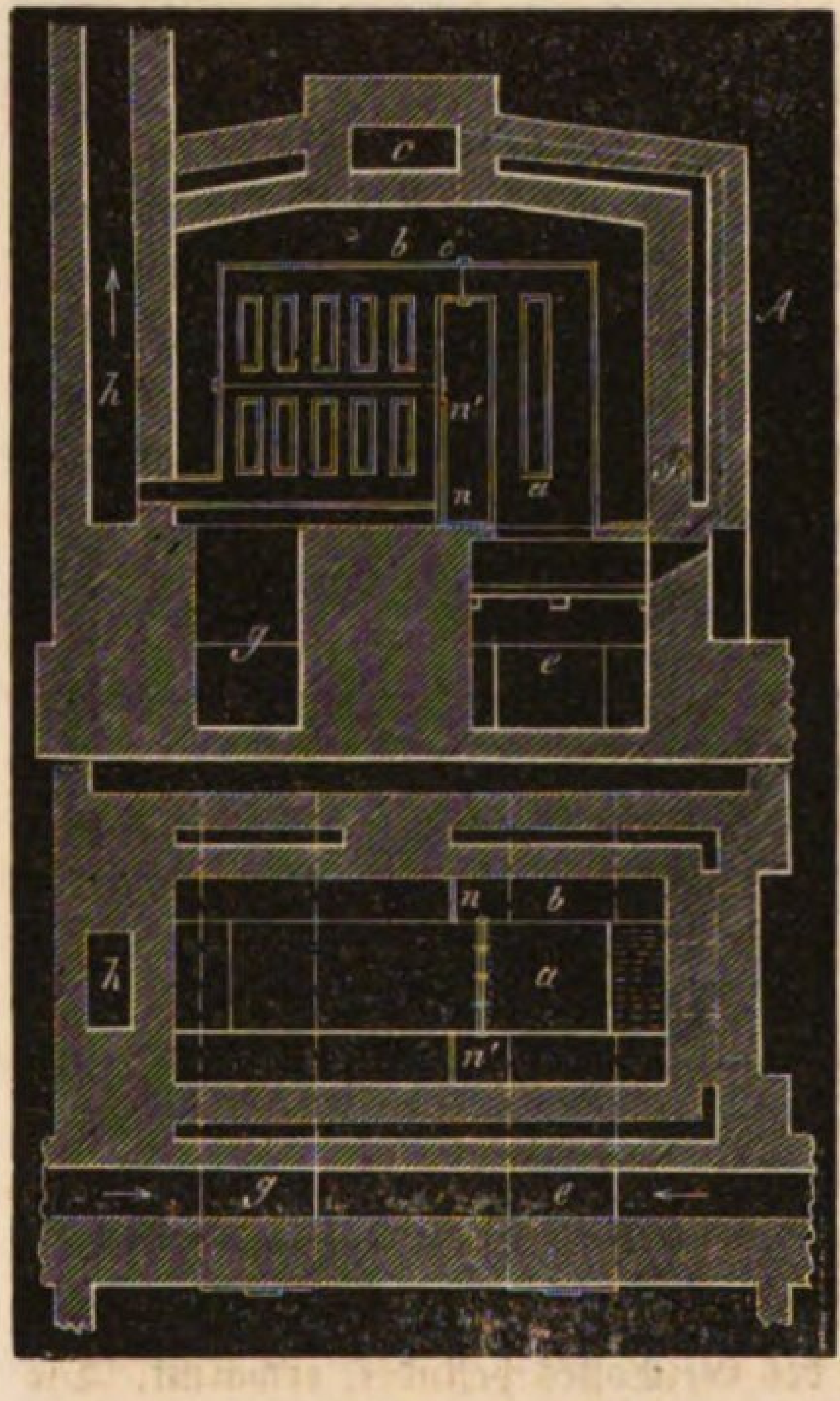
In den zu erwärmenden Räumen bringt man überdies Abzugskanäle an. Es versteht sich von selbst, daß diese sich möglichst entfernt von den Oeffnungen der Wärmekanäle befinden müssen. Sie können vom Fußboden selbst ausgehen, und sind durch Klappen verschließbar zu machen. Die Stubenluft läßt man entweder unmittelbar ins Freie abströmen, oder man leitet sie zurück zur Heizkammer, oder zu dem Feuerherde.

Von der Art, wie Schinkel die Wärmekanäle zu führen pflegte, giebt nebenstehende Figur einen Begriff. Das erste Geschoß A wird durch seinen Wärmebehälter, welcher dicht unter dem Fußboden des Geschosses längs der Zimmerreihe hinläuft, durch die Ausströmung L, welche sich in jedem Zimmer des Geschosses befindet, erwärmt. Die erhitzte Luft, welche aus der Ofenkammer J in den langen Behälter K geht, der etwa so weit gemacht wird, daß ein Mensch bequem hindurch kriechen kann, um etwaige Reparaturen zu besorgen, ist hier nicht mehr in dem Grade heiß, daß sie an der Ausströmung L zünden könnte. Auf dem gewölbten Corridor C ist in M der Schieber zum Absperren der warmen Luft und zum Oeffnen des Kanals angebracht. In ähnlicher Art liegt der Wärmebehälter N unter dem Fußboden des zweiten Geschosses B. Er ist auf Bogenstellungen Q gegründet und erhält unmittelbar von J nach N die erhitzte Luft, die er in O für die Zimmer ausgiebt; an ihm wird die Wärme der verschiedenen Zimmer durch den Schieber P regulirt. Es ist hierbei zu bemerken, daß die Wärmebehälter K und N eine geringe Steigung nach ihrer Länge hin erhalten müssen. Wenn E das Souterrain und F dessen gewölbter Corridor nicht Höhe genug haben, die Feuerkammer J aufzunehmen, so kann solche bei trockenem Grunde etwas unter dem Boden G G bis H gesenkt werden *).



*) Wagenmann a. a. O. Jahrg. 6. Berl. 1827 S. 83—103 u. 123—148.

Den senkrechten und horizontalen Durchschnitt eines Ofens mit einer Heizkammer stellen die beiden nebenstehenden Figuren dar *). a ist der Ofen über dem Feuerherde; b die Heizkammer; c der Leitungskanal der erwärmten Luft, von welchem aus dieselbe mittelst einer Steigröhre in die Zimmer tritt; e der Leitungskanal, welcher die äußere Luft oder auch die des Zimmers unter den Feuerrost leitet; g der Kanal, welcher die äußere Luft oder die der Zimmer in die Heizkammer führt. Diese Leitungskanäle sind mit Schiebern zur Regulirung des Luftzuges versehen. h ist der Schornstein; w eine Wand, durch welche die zu große Abkühlung des großen Ofenrohrs verhindert wird, indem die erst zu erwärmende bei g eintretende Luft nun nicht sogleich mit demselben in Berührung treten kann.

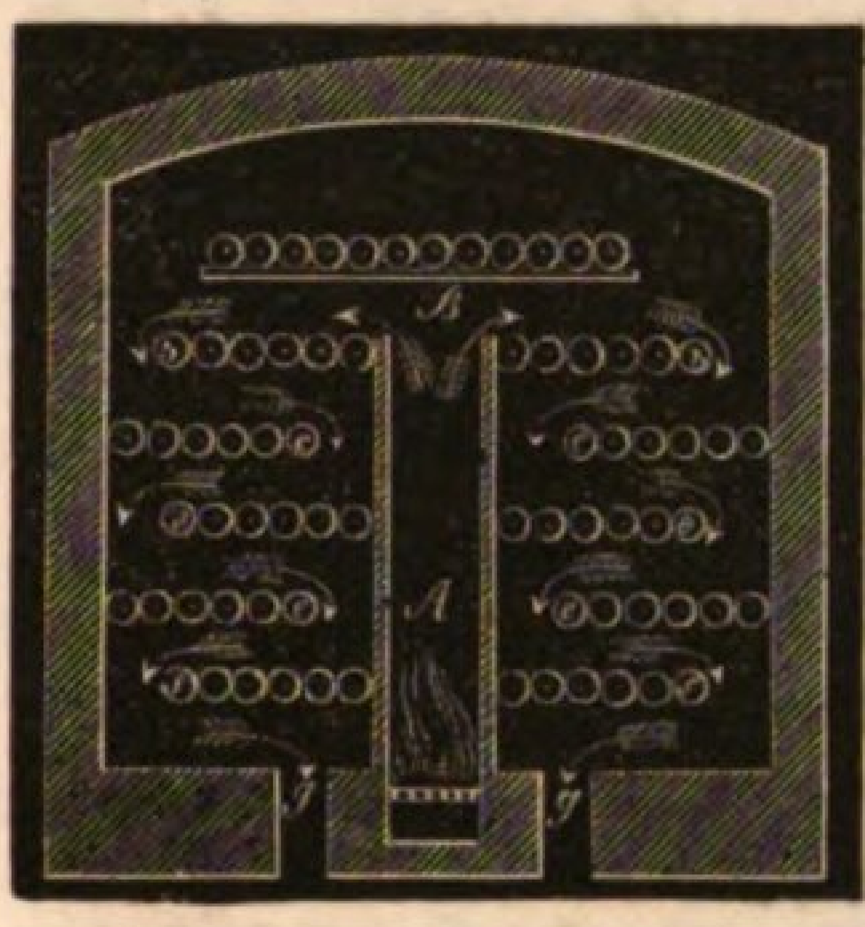


Außer mit Oefen, welche mit einer Heizkammer versehen sind, hat man noch andere Methoden zur Ausführung und in Vorschlag gebracht. In dem Marienburger Schlosse (s. oben) wurde z. B. ein großer mit Feldsteinen gefüllter Ofenkörper erhitzt; während das Feuer in demselben brannte, waren die Mündungen der Wärmekanäle, welche im Inneren des Ofens angebracht waren, geschlossen und erst nachdem das Feuer abgebrannt und der Schornstein geschlossen war, wurden dieselben geöffnet. Die durch den Ofen und durch die Zwischenräume der erhitzten Steine ziehende Luft tritt dann erwärmt in die Zimmer. Angestellte Versuche sind sehr befriedigend ausgefallen.

Eine andere Methode besteht darin, ein Röhrensystem äußerlich zu erhitzen und durch dasselbe die zu erwärmende Luft strömen zu lassen. Eine Hauptsache ist hierbei die Anordnung so zu treffen, daß die Luft, je heißer sie wird, auch durch immer heißere Röhren strömen muß. Eine Einrichtung, durch welche dieser Zweck erreicht wird, stellt die Zeichnung vor. Die Röhren liegen in mehreren Reihen, z. B. zu je 5 oder 6 zu beiden Seiten des Feuerraumes, über diesem auf einer feuerfesten steinernen Unterlage B (s. umstehende Figur) in doppelter Anzahl, also zu 10 oder 12, in einer einzigen Reihe. Die erste Röhre der ersten Reihe ist mit der ersten der zweiten verbunden, diese mit der ersten der dritten Reihe u. s. f. in gleicher Weise die zweiten Röhren &c. Die Flamme befindet sich in einem cylindrischen Mantel, theilt sich unter der Unterlage der obersten Doppelreihe in zwei abwärts gehende Theile, circulirt um die einzelnen Röhrenreihen und der Rauch entweicht unten durch die Oeffnungen gg in den Schornstein. Die zu erwärmende

*) Rothe, in Verhandl. des Vereins &c. Jahrg. 9. 1830. S. 60.

Luft tritt zuerst in die untere Röhrenschicht f f, gelangt von dieser in die schon wärmere e e, von da in d d und endlich durch die Röhren a a in den Wärmekanal *).



Ueber Luftheizung findet sich außer in den hier gelegentlich angeführten Schriften das Bedeutendste in: P. T. Meißner, die Heizung mit erwärmter Luft ꝛc. 3. Aufl. Wien 1826 und C. L. Engel, Anweisung zur Heizung der Gebäude mit erwärmter Luft. Berlin 1830. Vergl. auch Péclet, Traité de la chaleur, 3 edit. Liége. 1844. p. 293 — 308. Dingler's polytech. Journ. Bd. XV. S. 114.

Die Vorzüge der Luftheizung vor der Ofenheizung machen sich da bemerklich, wo es darauf ankommt, mehrere Räume zu heizen oder große Behältnisse, in denen Oefen nicht schicklich angebracht werden können. Sie ist im Ganzen genommen fast eben so kostbar wie Ofenheizung; unbedingt kostbarer fällt sie aus, wenn dieselbe nur für einzelne Locale benutzt wird. Da durch die Luftheizung die Anzahl der Feuerstellen vermindert wird, so vermindert sich hierbei zugleich die Feuersgefahr, zumal wenn man die Heizkammern in gewölbten und feuerfesten Räumen anlegt. In architektonischer Hinsicht gewinnt man wegen der fehlenden Oefen eine größere Freiheit für die einzelnen Zimmer.

Ein Uebelstand ist, daß bei Luftheizung sich häufig die Zimmer mit einem üblen Geruche füllen. Dies kann seinen Grund haben in dem Lehme oder Mörtel, mit welchem die Heizkammer gemauert ist, häufiger aber wohl noch in einer Zersetzung der mit der kalten Luft in die Heizkammer oder Röhren eindringenden Staubtheilchen. Daß bei einer nothwendig werdenden Reparatur die Heizung aller durch dieselbe Heizkammer versorgten Räume unterbrochen wird, ist eine nicht geringe Unbequemlichkeit. Weit schlimmer ist jedoch, daß die Luft in den auf diese Weise erwärmten Räumen ungemein ausgetrocknet wird. Wie nachtheilig gerade dieser Umstand ist, ist am trefflichsten ausgesprochen in einem Gutachten des Dr. Ure **). In Räumen, in welchen dieselben Personen täglich sich aufzuhalten gezwungen sind, sollte eine solche Heizung nie geduldet werden. Als einen Beleg führen wir an, daß z. B. in Stettin die Luftheizung im dortigen Gymnasium aus Gesundheitsrücksichten beseitigt werden mußte. Eben so wenig eignet sich diese Heizungsmethode für Gewächshäuser, da die Pflanzen gerade eine feuchtere Atmosphäre verlangen; auch für Gemäldegallerien dürfte sie nicht empfehlenswerth sein, weil die Rahmen der Gemälde und diese selbst zu stark austrocknen. Krankenhäuser auf diese Weise heizen zu wollen, würde gewiß unrathsam sein, und eben so wenig möchten wir Wagenmann ***) beistimmen, wenn er diese Heizung als vorzüglich anwendbar erklärt in Strafanstalten, Kasernen, Waisenhäusern und dergl. In Schauspielhäusern u. dergl. Gebäuden, in welchen der Aufenthalt von Menschen nur kürzere Zeit dauert, dürfte eine Luftheizungsanlage am ersten noch zu recht-

*) Technisches Wörterbuch von Karmarsch und Heeren. Bd. II. S. 42.
**) Technisches Wörterbuch von Karmarsch und Heeren. Bd. II. S. 44.
***) A. a. O. S. 101.

fertigen sein. Empfehlenswerth wird sie sein für Trockenstuben, Darrstätten, Wärmräume u. dergl.

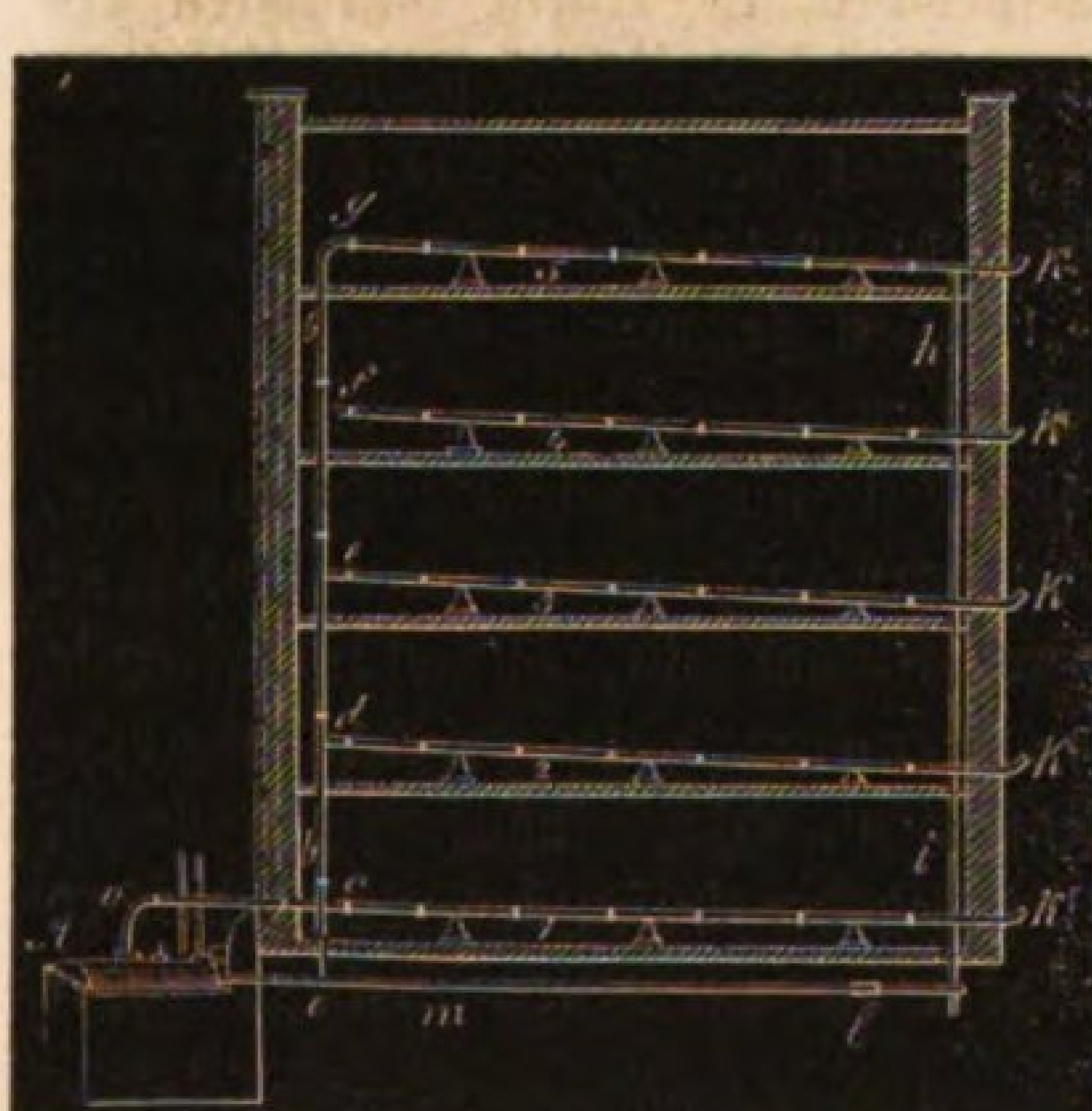
Als Ergänzung dieses Abschnittes über Luftheizung ist noch zu erwähnen, daß man einen gleichen Zweck zu erreichen gesucht hat durch Oefen, welche in den zu erwärmenden Räumen selbst angebracht werden.

Auf einem cylindrischen oder prismatischen Feuerkasten bringt man einen Cylinder an, welcher in eine senkrechte Rauchröhre ausläuft, die dann nach verschiedenen zweckmäßigen Biegungen in den Schornstein tritt. Dieser Cylinder ist von einem anderen concentrischen, weiteren und höheren umgeben, welcher unten geschlossen ist oder wenigstens bis zum Boden hinabreicht. Oben bleibt dieser Mantel offen. Ein zweckmäßig weiter, in dem Boden befindlicher und mit einem Register versehener Kanal stellt eine Verbindung der äußeren Luft mit dem Mantel her, und, sobald der Ofen geheizt wird, entsteht dann zwischen Mantel und Ofen ein Strom von Luft, welche oben erwärmt austreten wird. Ein Ofen aus Gußeisen und ein Mantel aus Blech erscheint am zweckmäßigsten.

Hierher gehören auch Meißner's Mantelöfen, die in gleicher Weise eingerichtet sind, nur daß der Mantel unten offen ist und nicht mit der äußeren Luft in Verbindung steht. Hierbei wird nur die Circulation der Stubenluft befördert. Dasselbe kann man jedoch auch durch die vorher bezeichnete Einrichtung erreichen, wenn man das Register schließt und eine unten am Mantel angebrachte Thür öffnet, während man hierbei noch den Vortheil hat, daß bei geöffnetem Register eine vielleicht wünschenswerthe Ventilation gewonnen wird.

6. Dampfheizung.

Die Dampfheizung beruht auf der Benutzung der bei der Condensation der Wasserdämpfe frei werdenden Wärme. Ein Pfund Wasserdampf von 100° C. enthält so viel Wärme, daß durch dieselbe 5,5 Pfund Wasser von 0° bis auf 100° C. erhitzt werden können *). Um diese Wärme zur Heizung zu benutzen, kann man aus einem Dampfkessel ein Steigrohr vertical in die Höhe führen und von diesem aus nach den zu erwärmenden Räumen und durch diese hindurch schräg liegende Röhren abzweigen. Das condensirte Wasser leitet man durch eine besondere Röhre zu dem Dampfkessel zurück.



Die nebenstehende Zeichnung wird die Ausführung veranschaulichen. A ist der Dampfkessel, a das Dampfrohr, b b das Steigrohr, c, d, e, f, g sind die Leitungsröhren zur Heizung der über einander liegenden Räume 1, 2, 3, 4 und 5. Durch die Röhren h i und l m fließt das condensirte Wasser zu dem Kessel zurück. Bei o vereinigt sich mit diesem Wasser das in der Steigröhre condensirte. Bei k k sind die Leitungsröhren aufwärts gebogen und mit Ventilen versehen.

*) Art. Dampf. Bd. II. S. 51.

Ein Dampfheizapparat besteht also: 1) aus einem Dampfkessel, 2) aus Röhren, welche den Dampf nach den zu erwärmenden Räumen führen, und 3) aus Röhren, welche das Condensationswasser entweder zu dem Kessel zurück oder gänzlich abführen.

Wegen des **Dampfkessels** verweisen wir auf Art. **Dampfmaschine** Bd. II. S. 321 ff. und auf den Abschnitt: C. **Heizungsanlage (Kesselheizung)** dieses Artikels.

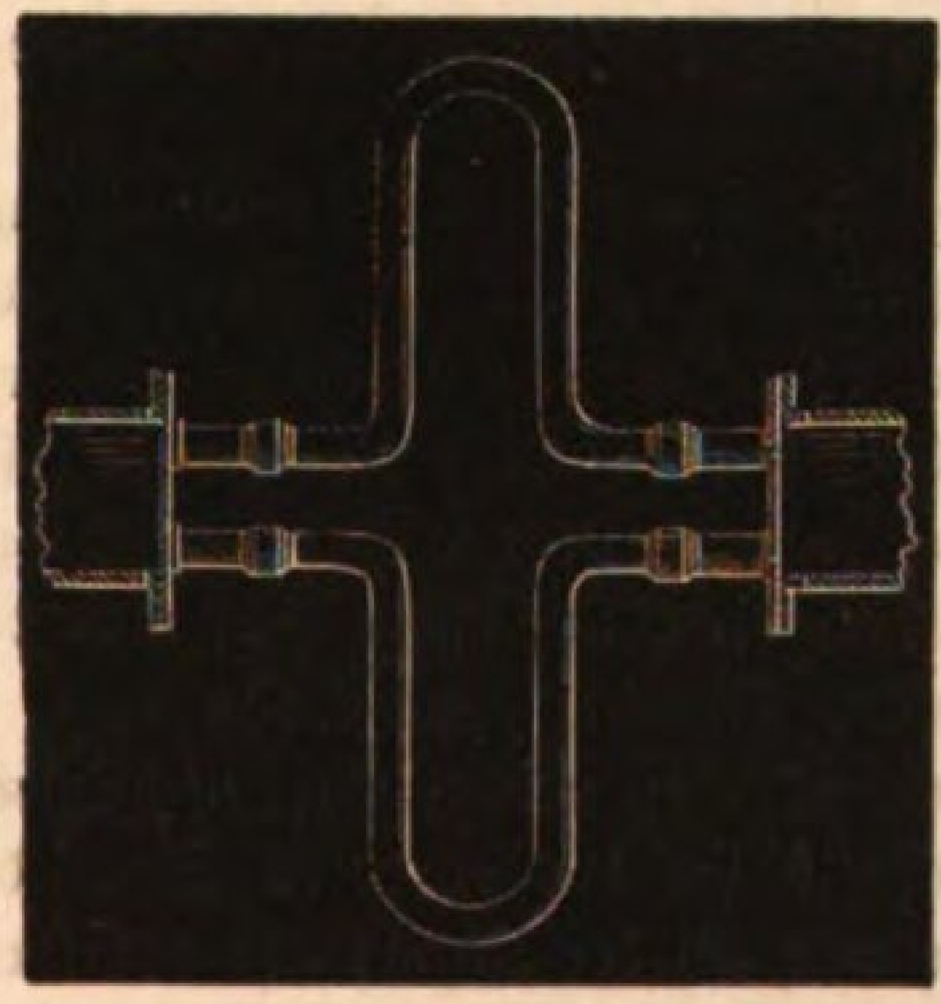
Die **Dampfleitungsröhren** dürfen selbst kein großes Condensationsvermögen haben. Man fertigt sie aus Metall, namentlich aus Schmiedeeisen von 14 bis 22 Linien Durchmesser oder aus Kupfer. Wo diese Röhren keine Wärme abgeben sollen, müssen sie mit schlechten Wärmeleitern umgeben sein in möglichst dicken Schichten. Heberartige Biegungen sind zu vermeiden, weil sich alsdann in der Röhre Wasser ansammeln würde.

Zu den **Condensationsröhren** nimmt man Gußeisen oder Eisen- oder Kupferblech, vorzugsweise aber das erstere.

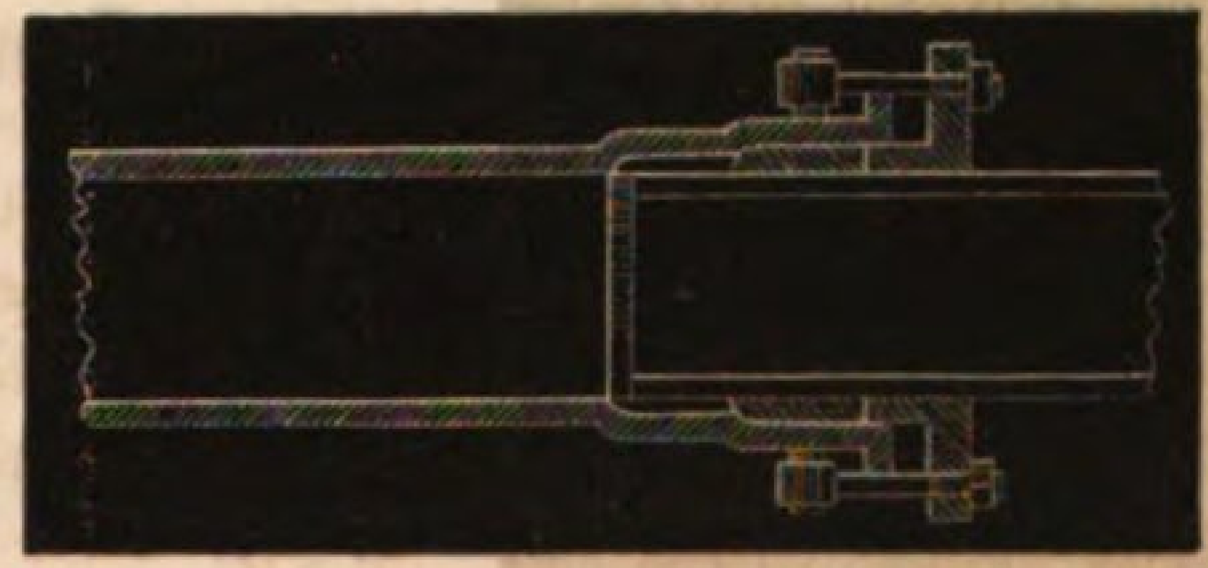
Von besonderer Wichtigkeit sind bei diesen Röhrensystemen **Compensatoren** zur Beseitigung der Nachtheile, welche mit den durch die Temperaturveränderungen veranlaßten Veränderungen in der Länge der Röhren verbunden sind *). Vernachlässigt man dies, so ist zu erwarten, daß die Röhren sich biegen und zerreißen, oder daß die Widerstände umstürzen.

Als Compensatoren wendet man an entweder kupferne Röhren von geringem Durchmesser und mit starker Krümmung, weil diese Krümmung leicht, oft und lange geändert werden kann, ohne daß das Metall zerreißt, oder weite Röhren, die in

I.



II.



einander passen und sich mehr oder weniger in einander verschieben können. Die nebenstehenden Fig. I. und II. stellen diese beiden Compensationsmethoden dar.

Zu Anfang der Heizung müssen die Röhren zum Ausströmen der Luft in denselben geöffnet sein. Deshalb sind an den Enden der Heizröhren Hähne angebracht worden. Auch während der Heizung ist es zweckmäßig die Röhren mitunter zu öffnen.

Da durch eine plötzliche Verdichtung des Dampfes, veranlaßt vielleicht durch ein schwaches Feuern, oder durch Verschließen des Dampfzulassungshahnes oder dergleichen, die Röhren zerdrückt werden könnten, so bringt man (s. k in der Zeich-

---

*) Vergl. Art. **Ausdehnung**. Bd. I. S. 576.

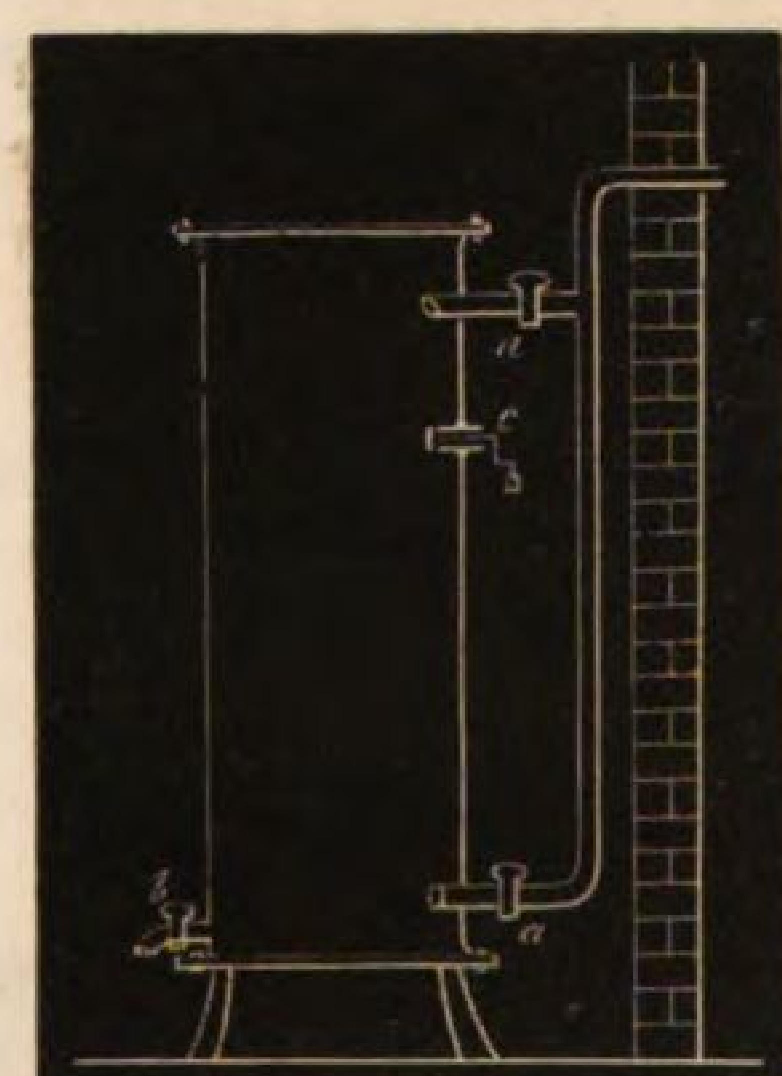
nung) ein Ventil an, welches sich in diesem Falle durch den stärkeren äußeren Luftdruck öffnet.

Die Röhren, in welchen das condensirte Wasser zurückfließt, leitet man entweder direct, zu einer Röhre vereint, zum Kessel, in welchem Falle jedoch durch ein Ventil dafür gesorgt werden muß, daß das Kesselwasser nicht in diese Röhren steigen kann, oder in einen besonderen Condensator und speist dann den Kessel mit dem hier gesammelten Wasser.

Neil Snodgraß scheint diese Art der Heizung zuerst ausgeführt zu haben *).

Die in Vorstehendem besprochene Methode der Dampfheizung empfiehlt sich nicht zur Erwärmung von Wohnzimmern, weil dieselben durch die Röhren verunstaltet werden. Für Wohngebäude ist folgende Einrichtung vorzuziehen.

Von der vertical aufwärtsgehenden Röhre führt man Zweigröhren zu den einzelnen Zimmern, und führt diese an der passendsten Stelle zu besonderen in den Zimmern stehenden Heizapparaten. Die Heizapparate, deren Form sehr verschieden sein und sogar eine Zierde des Zimmers abgeben kann, bestehen in der Hauptsache aus kupfernen Cylindern, etwa dreimal so hoch als breit und auf hölzernen Sockeln stehend. Kupfer, von welchem der Quadratfuß $1^1/_2$ bis 2 Pfund wiegt, reicht vollkommen aus. Der kupferne Cylinder ist oben und unten mit einem zweizölligen umgebogenen Rande versehen. Auf diesen wird ein aus Hanf geflochtener, mit Bleiweißkitt oder Mehl mit Eiweiß stark bestrichener Ring gelegt und hierauf die Schlußplatte angeschraubt, was dadurch besondere Festigkeit erlangt, daß man um den umgebogenen Rand des kupfernen Cylinders einen eisernen Ring legt, durch welchen die Schrauben gehen.



In den inneren, dampfdichten, hohlen Raum dieses Apparates gelangen die zur Heizung zu verwendenden Dämpfe durch eine halbzöllige kupferne Röhre, welche sich (vergl. die Figur) hinter dem Ofen in zwei Arme theilt, von denen der eine den Dampf gleich oben, der andere dicht über dem Boden in den Cylinder führt. Jeder Arm hat einen Hahn a, a, so daß der Dampf nach Belieben oben, oder unten, oder an beiden Stellen zugleich einströmen kann. Eben so befindet sich ein Hahn b an der vorderen Seite des Ofens dicht über dem Boden des Cylinders oder auch an der Unterfläche desselben, 1) um beim anfänglichen Einlassen des Dampfes durch den oberen Hahn der Luft den Austritt zu ermöglichen, 2) um Abends bei aufhörender Heizung das condensirte Wasser zu entfernen, 3) um durch denselben sich jederzeit kochendes Wasser zu verschaffen, da man zur Erwärmung des condensirten Wassers nur nöthig hat, den Hahn des unteren Armes zu öffnen. An der Rückwand des Ofens ist endlich ein Ventil c zum Eintritte atmosphärischer Luft angebracht, sobald durch eine eintretende Abkühlung die innere Spannung abnehmen sollte.

---

*) Gilbert's Ann. Bd. XXXIII. S. 395, nach Nicholson's Journal of natur. philos. Mai 1807.

Da hier eine Erwärmung des Ofens bis auf 100° C. eintritt, so genügen auf 1000 Cubikfuß des zu erwärmenden Raumes 8 bis 10 Quadratfuß Ofenfläche *).

Die Vortheile der Dampfheizung bestehen in den geringeren Kosten für Brennmaterial, in der großen Reinlichkeit, in einer der Gesundheit zuträglichen gleichförmigen Erwärmung, in der Unmöglichkeit Rauch in das Zimmer zu bekommen, in der geringeren Feuersgefahr, da die Anzahl der Feuerungsanlagen verringert wird, und in der Kostenersparung bei Neubauten.

Benutzt man den Dampf zugleich für die Küche, so braucht diese nur aus einem Zimmer zu bestehen, durch welches ein Dampfrohr geführt ist, an welches man alsdann einzelne Röhren anzuschrauben hat, die zu den — mit doppelten Wänden versehenen, metallenen — Töpfen führen. In einer solchen Küche ist kein Feuer mit Ausnahme des Bratofens, kein Rauch, kein Zug; die Speisen können nie anbrennen, schmecken nie räucherig und erhalten also vorzügliche Schmackhaftigkeit. Die Küche wird durch die Gefäße selbst erwärmt, warmes Wasser ist stets vorräthig, und da man die Dämpfe bis über 100° C. erhitzen kann, so kann man auch die Speisen bei einer höheren Temperatur kochen, als es beim freien Feuer möglich ist.

Redtenbacher **) giebt folgende Bestimmungsgleichungen:

Ist w die Wärmemenge, welche stündlich zur Heizung des Raumes nöthig ist; R die Oberfläche der Dampfröhren, welche die Wärme abgeben; T die Temperatur des Dampfes im Kessel und in den Röhren; Δ die Temperatur, welche in dem zu heizenden Raume hervorgebracht werden soll, so hat man:

a) für die Oberfläche der Dampfröhren:

$$R = \frac{w}{7{,}7\,[1 + 0{,}0066\,(T - \Delta)]\,(T - \Delta)},$$

also für $T - \Delta = 80$,

$$R = \frac{w}{941}.$$

b) für die Dampfmenge in Kilogr., welche stündlich zur Heizung erforderlich ist:

$$\frac{w}{650 - T}, \text{ also für Dampf von einer Atmosphäre Spannung } = \frac{w}{550}.$$

c) für den stündlichen Verbrauch an Steinkohlen:

$$\frac{1}{6} \cdot \frac{w}{550}.$$

d) für die Heizfläche des Dampfkessels:

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{w}{550}.$$

---

*) Zeise, praktische Anleitung zur vortheilhaften und sicheren Benutzung der Wasserdämpfe von einfacher und mehrfacher Spannung. Altona 1831. — Tredgold, Grundsätze der Dampfheizung &c., aus dem Engl. übersetzt von O. B. Kühn. Leipzig 1826.

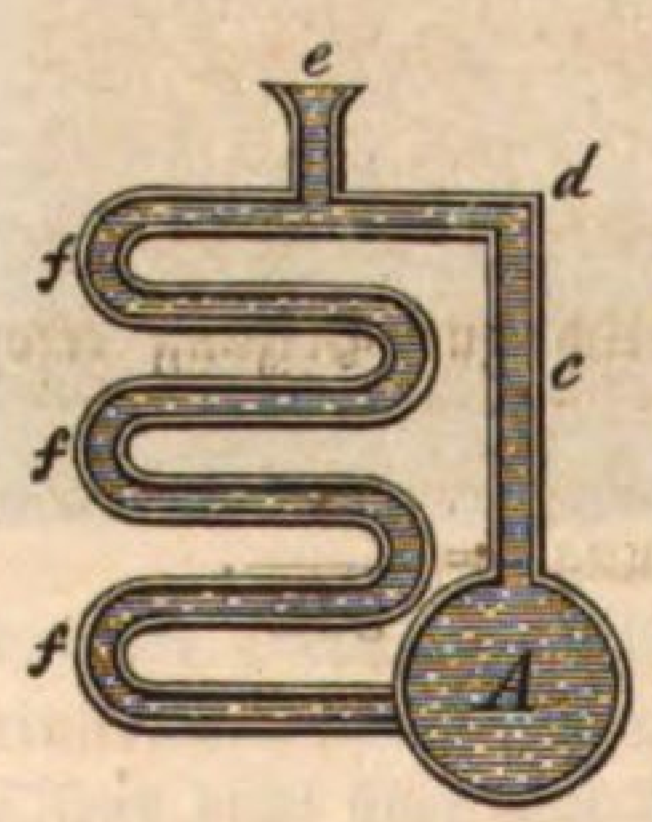
**) Resultate &c. §. 239. S. 192.

7. Heißwasserheizung.

Wenn warmes Wasser in einem verschlossenen Gefäße enthalten ist, so kühlt es sich ab und erwärmt mithin die umgebende Luft. Es liegt nahe, diese Wärmemittheilung zur Heizung zu benutzen, zumal das Wasser eine bedeutende specifische Wärme besitzt und daher ein geringes Gewicht desselben ein großes Volumen Luft zu erwärmen vermag. Ein Pfund Wasser von 100° C. entwickelt, wenn es sich bis auf 20° C. abkühlt, 80 Wärmeeinheiten, vermag also 8 Pfund Wasser um 10° C. in seiner Temperatur zu erhöhen. Will man also Luft von 10° C. auf 20° C. erwärmen, so würden durch diese 80 Wärmeeinheiten 8 . 4 = 32 Pfund oder 350 Cubikfuß Luft diese Temperaturerhöhung erfahren, da die specifische Wärme der Luft 4 Mal geringer ist, als die des Wassers. Es kommt also darauf an, ein mit warmem Wasser gefülltes Gefäß in den zu erwärmenden Raum zu bringen und dafür zu sorgen, daß die Wärme, welche das Wasser verliert, wieder ersetzt wird.

a) Der Apparat, durch welchen dies erreicht wird, gründet sich darauf, daß durch Erwärmung einer Flüssigkeit von unten in derselben Strömungen entstehen, veranlaßt durch die Verschiedenheit in dem specifischen Gewicht des kalten und warmen Wassers. Ein verhältnißmäßig großes, dicht zugeschraubtes Gefäß, ein **Wasserkessel**, steht zu diesem Zwecke mit Röhren in Verbindung, welche nach den zu erwärmenden Räumen geführt werden und dann wieder zu dem Kessel zurückkehren, indem sie am unteren Theile desselben endigen und in ihn einmünden. Kessel und Röhren sind sämmtlich mit Wasser gefüllt.

Zur näheren Veranschaulichung diene nebenstehende Figur. A ist der Kessel, c das Steigrohr, d f A die zum Kessel zurückgehende Heizröhre. Das Gefäß e am oberen Ende der Steigröhre dient zum Füllen des Apparates mit Wasser, wenn die Röhren weit genug sind, oder es befindet sich oben nur eine durch einen Hahn verschließbare Oeffnung zur Entweichung der Luft, wenn die Wasserfüllung mittelst einer Druckpumpe zu Stande gebracht wird. Indem in A c d das wärmere Wasser emporsteigt und dabei seine Wärme den darüber liegenden kälteren Flüssigkeitstheilchen mittheilt, tritt unten im Kessel aus f wieder kälteres Wasser an die Stelle des emporgestiegenen wärmeren, und somit ist eine Circulation durch das ganze Röhrensystem eingeleitet, so daß nach und nach das gesammte Wasser eine höhere Temperatur erlangt.



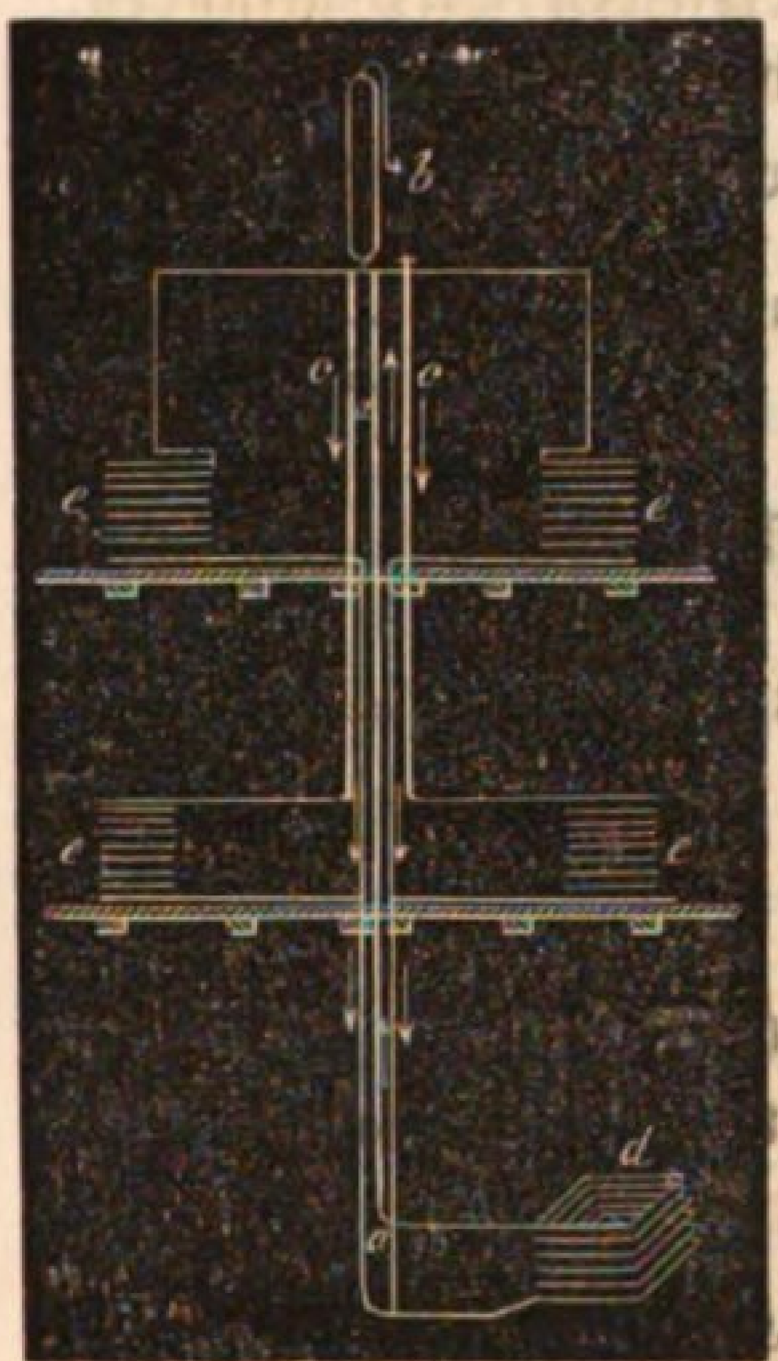
Die Erwärmung der Zimmerräume kann man, wie bei der Dampfheizung, durch die durchgeleiteten Röhren selbst, oder durch besondere, die Stelle der Oefen vertretende Wasserbehälter bewerkstelligen. Da bei dieser Erwärmung die Heizröhren nur ungefähr bis auf 50° C. erwärmt werden, so müßte man hier eine noch einmal so große Wärme abgebende Fläche anwenden als bei der Dampfheizung, also 16 bis 20 Quadratfuß Heizfläche auf jede 1000 Cubikfuß Zimmerraum. Dies Verhältniß ist indessen noch nicht ausreichend, weil bei höheren Temperaturen die Wärmeausstrahlung schneller erfolgt, als bei niederen, oder — mit anderen Worten — weil ein Quadratfuß sich von 100° C. auf 90° C. schneller

abkühlt, als von 50° C. auf 40° C. Man wird daher 20 bis 30 Quadratfuß Heizfläche auf jede 1000 Cubikfuß zu nehmen haben.

Diese Heizmethode ist von dem Marquis de Chabannas eingeführt.

Ein Uebelstand bei diesen Heizapparaten ist der starke Druck der Wassersäule (vergl. Art. Heber, anatomischer). Der Kessel muß deshalb besonders stark gearbeitet werden, auch verlangt das Dichtmachen der Fugen, wo die Röhren aneinander gesetzt werden, besondere Vorsicht. Daß das Gebäude durch das große Gewicht der Leitungsröhren mit ihrem Inhalte eine nicht unbedeutende Belastung erhält, ist nicht minder zu beachten. Zu verkennen ist jedoch nicht, daß die Construction dieser Apparate einfach ist, wenig Aufsicht nöthig wird und die zu erwärmenden Räume eine zweckmäßige Temperatur erhalten, die Tag und Nacht anhält, wenn auch nur während des Tages gefeuert worden ist. Diese Heizmethode findet deshalb immer mehr Eingang, ist in England bereits sehr gebräuchlich und auch in Deutschland und Frankreich wird sie immer häufiger zur Ausführung gebracht.

b) Eine neue Methode der Wasserheizung hat Perkins erfunden und z. B. im britischen Museum zu London ausgeführt. Er benutzt warmes Wasser von hoher Temperatur von 150 bis 200° C., ja an der Feuerstelle steigt dieselbe bisweilen bis auf 500° C.



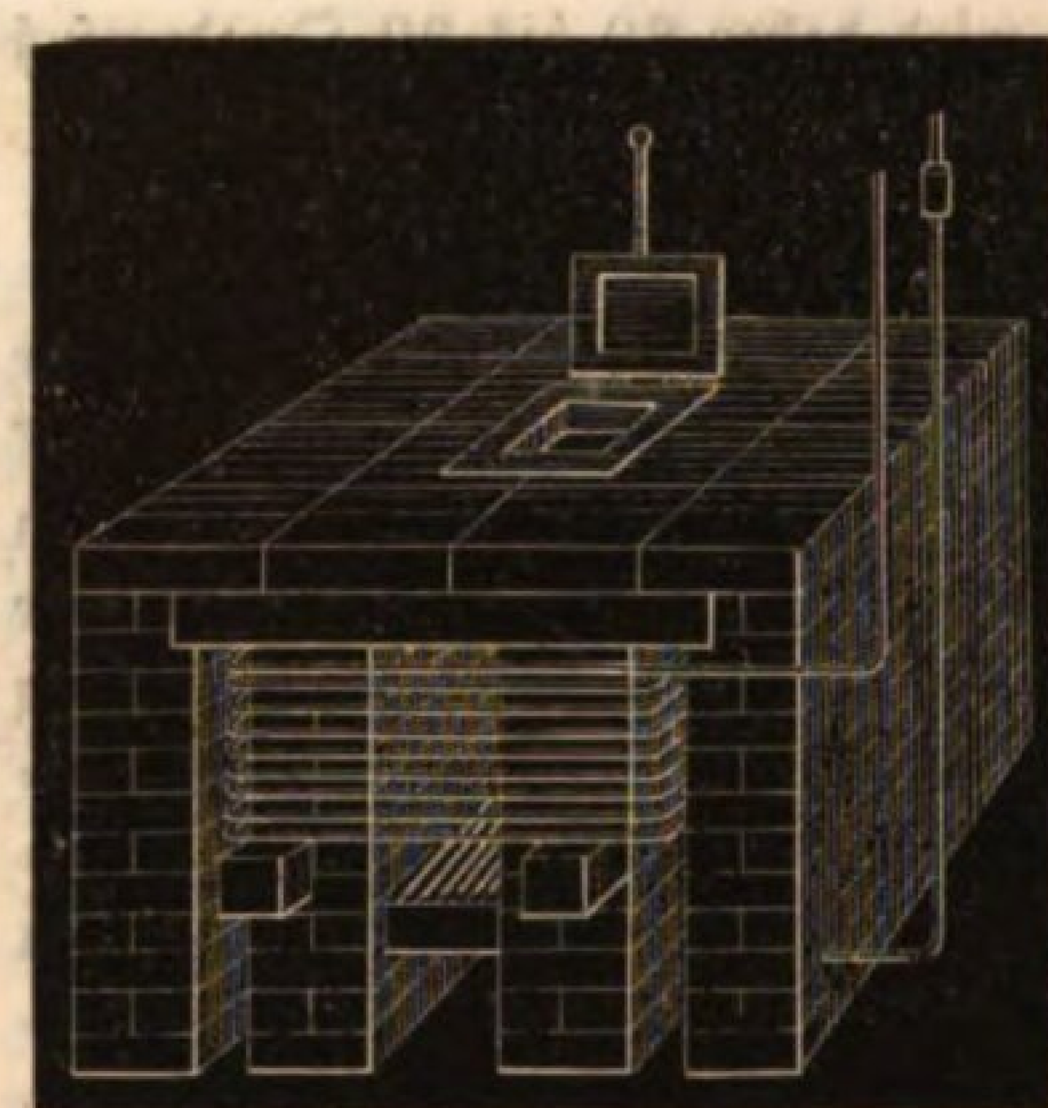
In der einfachsten Form besteht der Apparat aus einer zusammenhängenden oder endlosen Röhre, welche überall geschlossen und mit Wasser gefüllt ist. Ein Kessel wird nicht gebraucht. Etwa $1/6$ der Röhre ist in irgend einer passenden Form aufgewickelt und in einen Ofen gebracht, die übrigen $5/6$ werden durch Circulation erwärmt.

d ist der zusammengewundene, im Ofen liegende Theil der Röhre (s. beistehende Figur), a die aufsteigende Säule, b eine Expansionsröhre, c die absteigende Säule, e ein zusammengewundener Röhrentheil im Zimmer, im Zusammenhange stehend mit der absteigenden und nicht mit der aufsteigenden Säule. Die zusammengewundenen Röhrentheile in den Zimmern werden unter eine passende Verkleidung gebracht und wirken als Stubenöfen.

Die Füllung geschieht durch eine Druckpumpe, wobei der obere Theil der Expansionsröhre, der durch einen eingeschraubten Pfropfen verschließbar ist, geöffnet wird.

Die Röhren sind einzöllig von geschmiedetem Eisen, $1/4$ Zoll dick und durch eine hydraulische Presse für einen Druck von 3000 Pfund auf den Quadratzoll zu prüfen.

Von dem Ofen giebt umstehende Figur eine Vorstellung. Zur genaueren Einsicht in das Innere ist der Vorderrand des Ofens weggelassen. Wegen der



Einzelheiten dieser Heizmethode verweisen wir auf Péclet *). Die sonst bei der Wasserheizung stattfindende Sicherheit scheint hier weniger Vertrauen gefunden zu haben, wiewohl die Methode von Perkins schon seit 1832 sich bewährt haben soll.

Für diese Perkins'sche Heizmethode giebt Redtenbacher **) folgende praktische Erfahrungsregeln:

a) w = Wärmemenge, welche stündlich zur Heizung nöthig ist.

b) Totale Länge sämmtlicher Wärmeröhren = $\frac{w}{118}$ Meter.

c) Größte Länge einer Wärmeröhre, gemessen von dem Austritte aus dem Ofen bis zum Wiedereintritte = 160^m.

d) Anzahl der Circulationen. Die kleinste Anzahl derselben wird gefunden, wenn man die totale Länge der Wärmeröhren durch 160 dividirt.

e) Die Länge der Heizröhre, d. h. der Spirale, welche sich in dem Ofen befindet, um die Wärme des Brennstoffes aufzunehmen, ist $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4{,}5}$ von der Länge einer Wärmeröhre.

f) Das Verhältniß zwischen dem Volumen der Expansionsröhre und dem inneren Volumen einer Wärmeröhre ist $^1/_5$.

g) Der innere Durchmesser der Spirale und der Wärmeröhren = $0{,}012^m$ ($4^1/_2'''$).

h) Aeußere Durchmesser dieser Röhren = $0{,}025^m$.

i) Wanddicke dieser Röhren = $0{,}0065^m$.

k) Innerer Durchmesser einer Expansionsröhre = $0{,}05^m$.

l) Temperatur des circulirenden Wassers beim Eintritte in die Spirale = 60^0, und beim Austritte aus derselben 150^0 bis 200^0.

m) Stündlicher Brennstoffverbrauch in Kilogr. bei Holzfeuerung $\frac{w}{1500}$ bis $\frac{w}{1000}$ und bei Steinkohlenfeuerung $\frac{w}{3000}$ bis $\frac{w}{2000}$.

c) Eine dritte Wasserheizmethode ist das Thermosiphon von Fowler. Der Kessel ist offen; das Röhrensystem wirkt nach dem Princip des Hebers. Da durch den offenen Kessel ein nicht unbedeutender Wärmeverlust bedingt ist, sich viel

---

*) A. a. O. S. 318. — Vergl. auch: Froriep, der ärztliche Hausfreund. 1853. Bd. I. Nr. 25. S. 385—396 aus: Popular treatise on the Warming and Ventilation of Buildings.

**) Resultate rc. §. 240. S. 193.

leichter in den oberen Röhrentheilen Luft ansammeln kann, und die Röhrenhöhe eine beschränkte ist, indem sie vom Drucke der Luft abhängt; so steht diese Methode den anderen bedeutend nach, weshalb wir hier das Nähere übergehen können *).

d) Noch mag erwähnt werden, daß man sich in neuerer Zeit auch des aus Bohrbrunnen gewonnenen Wassers, welches eine beständige Temperatur zeigt, die um so höher ist, aus je größerer Tiefe das Wasser kommt, bedient hat, um namentlich Arbeitssäle in Fabrikgebäuden damit zu erwärmen, indem man es in denselben in offenen Rinnen herumgeleitet hat. Die Wärme dieses Wassers (vergl. Art. Quellen) ist hinreichend, um in einem Zimmer, in dem eine beträchtliche Anzahl von Menschen arbeitet, auch im Winter eine angenehme Temperatur zu erhalten **).

II. Allgemeine Verhältnisse.

Bei den einzelnen Heizungsarten ist zwar in der Regel angegeben, ein wie großer Raum durch eine bestimmte Größe der Heizfläche auf eine bestimmte Temperatur erwärmt wird; diese Angaben, obgleich dieselben in der Praxis ziemlich brauchbare Resultate geben, können indessen rational nicht maßgebend sein, da sich die zur Erwärmung eines bestimmten Raumes erforderliche Wärmemenge nicht nach diesem Raume allein richtet, sondern noch weit mehr von der Größe und der Beschaffenheit der den Raum begrenzenden Flächen abhängig ist.

Nach Redtenbacher ***) rechnet man auf 1 Cubikmeter stündlich bei Wohnhäusern 32 Wärmeeinheiten für eine Temperatur von 15°; bei Spitälern 21 Wärmeeinheiten für 14°; bei Fabrikgebäuden 16 Wärmeeinheiten für 12°; bei Treibhäusern für Pflanzen nördlichen Klimas 64 Wärmeeinheiten für 6 bis 10° und für Pflanzen südlichen Klimas 130 Wärmeeinheiten für 18 bis 20°.

Nimmt man auf die einschließenden Flächen genauere Rücksicht, so erhält man ****):

$$w = f\left(\frac{m n}{m e + n} M + p F\right)(\varDelta - \varDelta_0),$$

wo die Bedeutung der einzelnen Größen folgende ist:

M Mauerfläche, Deckfläche und Bodenfläche, welche den Raum einschließen, die Fenster nicht mit gerechnet; F Summe der Fensterflächen in dem zu erwärmenden Raume; — e Mauerdicke; $\varDelta_0$ niedrigste Temperatur der äußeren Luft im Winter; $\varDelta$ Temperatur, welche im Inneren hervorgebracht werden soll, wenn die äußere $\varDelta_0$ ist; m und n von der Natur des Baumaterials abhängige Zahlen, so zwar, daß für Bruchsteinmauern m = q und n = 0,80, aber für Backsteinmauern m = q und n = 0,68 ist; p Wärmemenge, welche stündlich durch 1 Quadratmeter Fensterfläche bei einer Temperaturdifferenz von 1° verloren geht, und ist diese bei

---

*) Prechtl, technol. Encyclop. Bd. VII. Art. Heizung. S. 460. Gehler's physik. Wörterb. Neue Bearb. Bd. IX. S. 1019

**) Ueber den Nutzen artesischer Brunnen, in Verhandlungen des Vereins 2c. Jahrg. 9. S. 207.

***) Resultate 2c. §. 236. S. 190.

****) Resultate. §. 237.

einfachen Glasfenstern = 3,66, bei Doppelfenstern = 2; f ein Coefficient, welcher davon abhängt, ob die Heizung continuirlich oder unterbrochen ist, im ersten Falle = 1,5, sobald aber nur bei Tage geheizt wird, = 2.

In gewöhnlichen Fällen ist

$$w = 70\,M + 220\,F$$

ausreichend.

Diese Verhältnisse gelten da, wo keine künstliche Ventilation angebracht ist; wird jedoch stündlich eine Luftmenge q in Kilogr. dem zu erwärmenden Raume in reinem aber kaltem Zustande durch Ventilation zugeleitet und im unreinen Zustande abgeleitet, so vermehrt sich der oben angegebene Werth von w um $0{,}266 \,.\, q\,(\varDelta - \varDelta_0)$.

Ist endlich der Raum zur Aufnahme einer größeren Anzahl von Menschen bestimmt, so darf auch diese nicht unberücksichtigt bleiben. Es bedarf nämlich ein Mensch stündlich 6 Cubikmeter oder 7,8, also nahe 8 Kilogr. atmosphärischer Luft. Hierbei wird durch den Athmungsproceß stündlich eine Wärmemenge von ungefähr 73 Wärmeeinheiten entwickelt, von denen aber 25 Einheiten zur Dampfbildung verwendet werden, so daß noch 48 Einheiten übrig bleiben, welche erwärmend auf den Raum einwirken. Bezeichnen wir also die Anzahl der in dem Raume befindlichen Menschen mit N, so sind von obigem Werthe für W noch 48 N Einheiten in Abzug zu bringen *).

Wegen der Berechnung des Wärmeverlustes durch die den Raum begrenzenden Flächen verweisen wir übrigens auf die von Muncke **) angestellten Untersuchungen und auf Péclet ***). H. C.

Heliometer, s. Mikrometer.

Heliostat (ἥλιος Sonne und ἵστημι stellen), ein Instrument, welches dazu dient, den Strahlen der Sonne eine bestimmte beliebige Richtung zu geben und sie bei dem Fortrücken der Sonne in dieser Richtung zu erhalten. Bei vielen optischen Versuchen muß man die Sonnenstrahlen durch eine kleine gewöhnlich im Fensterladen angebrachte Oeffnung in ein dunkles Zimmer fallen lassen. Da nun die Sonne ihren Stand verändert, so wird auch der Ort des Bildes im Zimmer ein anderer werden. Dazu kommt noch die Schiefe der Strahlen, zufolge deren sie sich nach ihrem Eintritte ins Zimmer gegen den Fußboden richten, so daß man in einer nur gewöhnlich sehr kleinen Strecke Versuche mit ihnen anstellen kann. Durch diese Umstände ist die Dauer und Leichtigkeit der Versuche beschränkt, und daher ein Instrument wie das vorerwähnte von unzweifelhaftem Werthe.

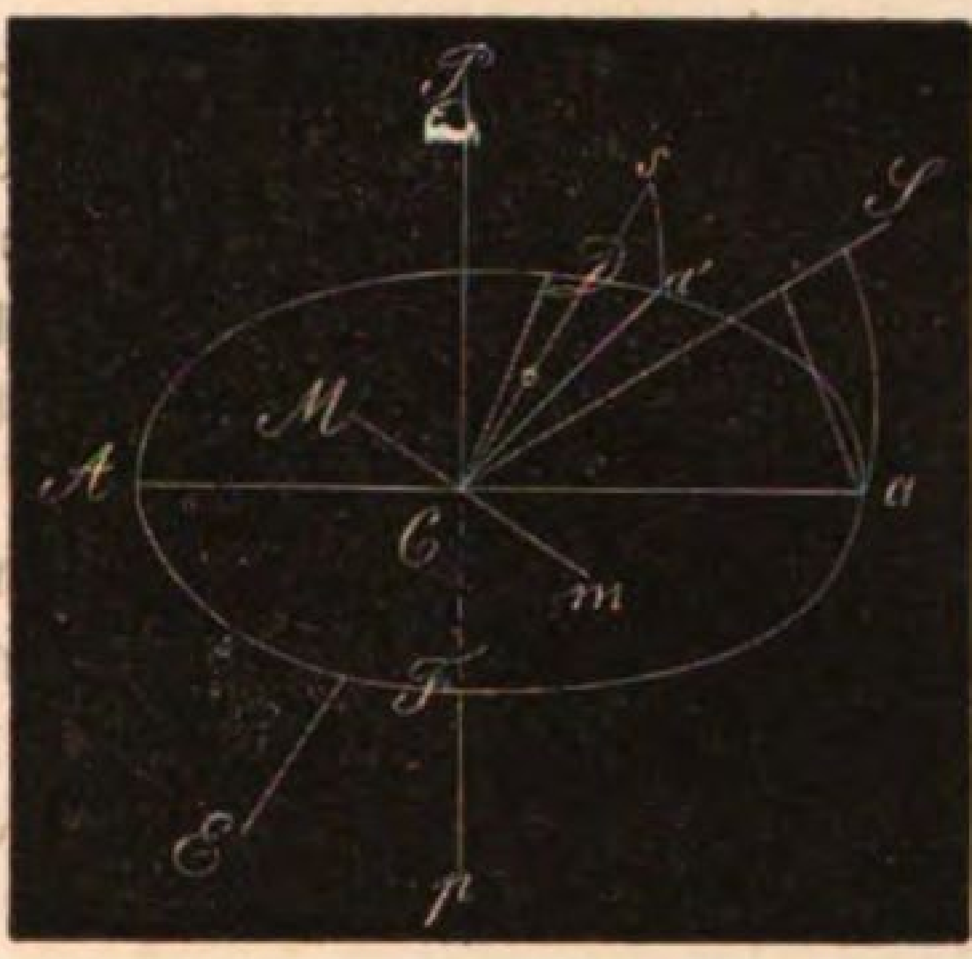
Das Instrument besteht gewöhnlich in einem Planspiegel, der zur nöthigen Stellung gegen die Sonne mit einem Mechanismus versehen ist, oder man wendet wohl auch zwei Spiegel an. Die Erfindung des Instrumentes schreibt man s'Gravesand zu; nach Anderen soll es von Fahrenheit herrühren. Der Name „Heliostat" wurde von s'Gravesand eingeführt; die Heliostate mit zwei Spiegeln werden wohl auch die Fahrenheit'schen genannt. Die Einrichtung

*) Resultate ꝛc. §. 238. S. 191. Péclet, a. a. O. S. 371.
**) Gehler's phys. Wörterb. N. A. Bd. V. Art. Heizung. S. 161.
***) A. a. O. S. 376.

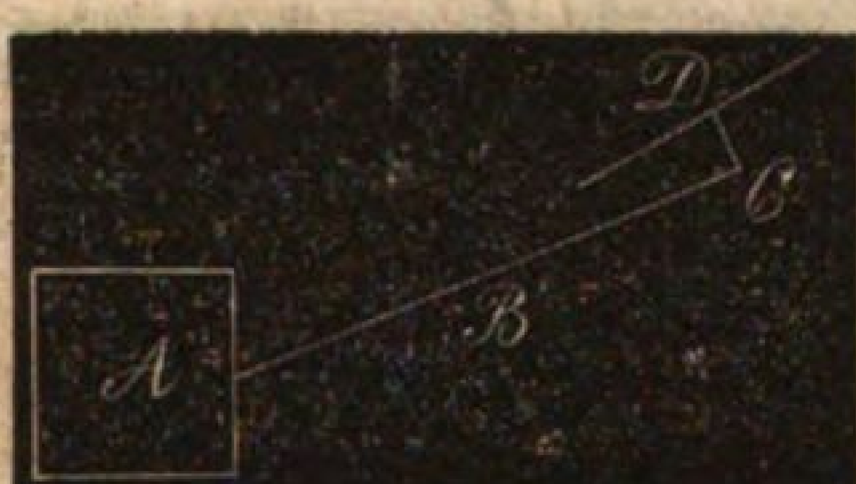
eines Heliostaten mit zwei Spiegeln und einem Uhrwerk wird aus dem Nächstfolgenden verständlich werden.

A a F (Fig. I.) sei die Ebene des Himmelsäquators, C die Erde, die sich hier als Punkt betrachten läßt, P p die Weltaxe und A a die Mittagslinie oder der Durchschnitt der Mittagsebene des Beobachtungsortes mit dem Aequator.

I.



II.



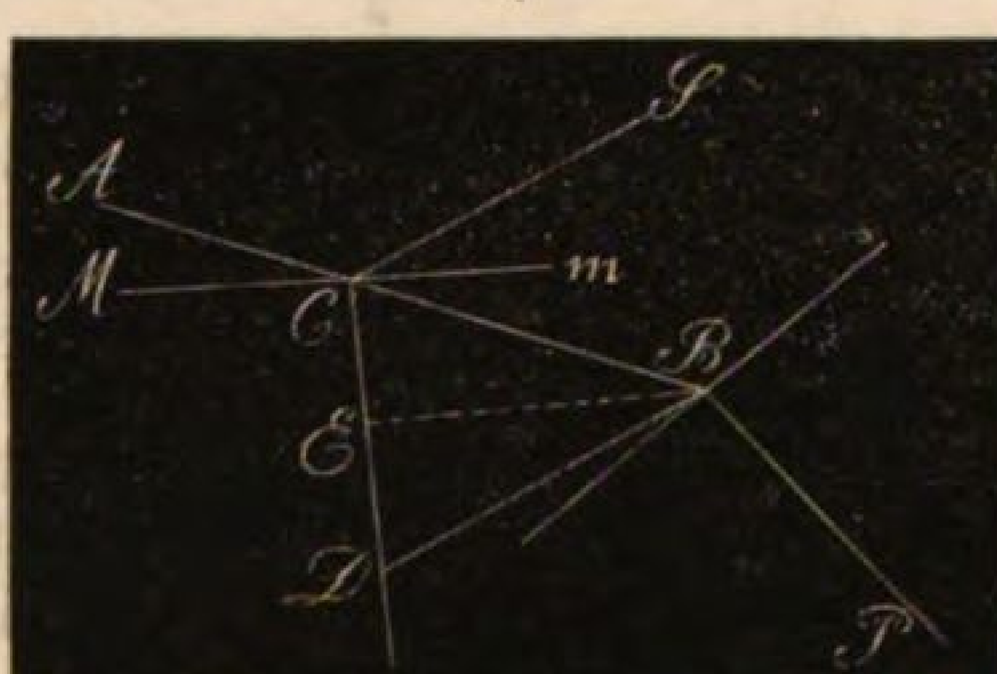
Wenn nun die Sonne bei der Culmination sich in S befindet und einen Strahl S C nach C sendet, so ist S a ihre Abweichung = d. Soll dieser Strahl durch einen Planspiegel M m nach C P reflectirt werden, so muß die in C auf dem Spiegel errichtete Senkrechte in der Ebene S C P, also in der Mittagsebene liegen, und es muß außerdem S C m = P C M sein, oder es muß die auf dem Spiegel senkrechte C D den Winkel P C S, welcher den Abstand der Sonne vom Pol = $90^0 - d$ bezeichnet, halbiren. Demnach ist die Neigung der geraden Linie D C E zu Mittag gegen die Ebene des Aequators gleich $45^0 - \frac{d}{2}$, also wenn p die Polhöhe des Beobachtungsortes ist, die Neigung des Spiegels gegen den Horizont $= 45^0 - p + \frac{d}{2}$. Kommt nun die Sonne von S nach s und sieht man von der geringen Aenderung ihrer Abweichung während der Zeit, in der sie den Stundenwinkel a′ C a beschreibt, ab, so muß, wenn der reflectirte Strahl wieder nach C P hinfahren soll, das Einfallsloth wieder in die Ebene P C s zu liegen kommen. Dies wird geschehen, wenn der Spiegel sich auch um den Winkel a′ C a um die Axe P p gedreht hat. Ist daher nach der Richtung C p ein Stift am Spiegel angebracht, der mit C E den Winkel $45^0 - \frac{d}{2}$ macht, und mit einem Uhrwerke in Verbindung, das ihn gleichförmig in 24 Stunden einmal um 360^0 herumdreht, so wird der einfallende Strahl s C gegen den Nordpol P hingeworfen, und kann demnach durch einen gehörig gestellten ruhenden Planspiegel in jede beliebige Richtung gebracht werden. Die vorstehende Fig. II. stellt einen solchen Heliostaten der Hauptsache nach vor. A ist eine Uhr von gleicher Einrichtung mit einer gewöhnlichen Federuhr, nur mit dem Unterschiede, daß der Zeiger nicht in 12, sondern in 24 Stunden einen Umlauf macht. An der Stange B ist mittelst einer Schraube eine runde Metallstange C befestigt, welche mit der Weltaxe parallel läuft und mit einem Planspiegel D verbunden ist, dessen Ebene gegen obige Stange eine Neigung von $45^0 + \frac{d}{2}$ hat. Durch einen Quadranten läßt sich dieser Winkel genauer ausmitteln. Der Spiegel und die Stange ruhen auf einem Gestelle mit Frictionsrollen, welches

dem Spiegel diejenige Bewegung gestattet, die er durch den Gang der Uhr annehmen muß.

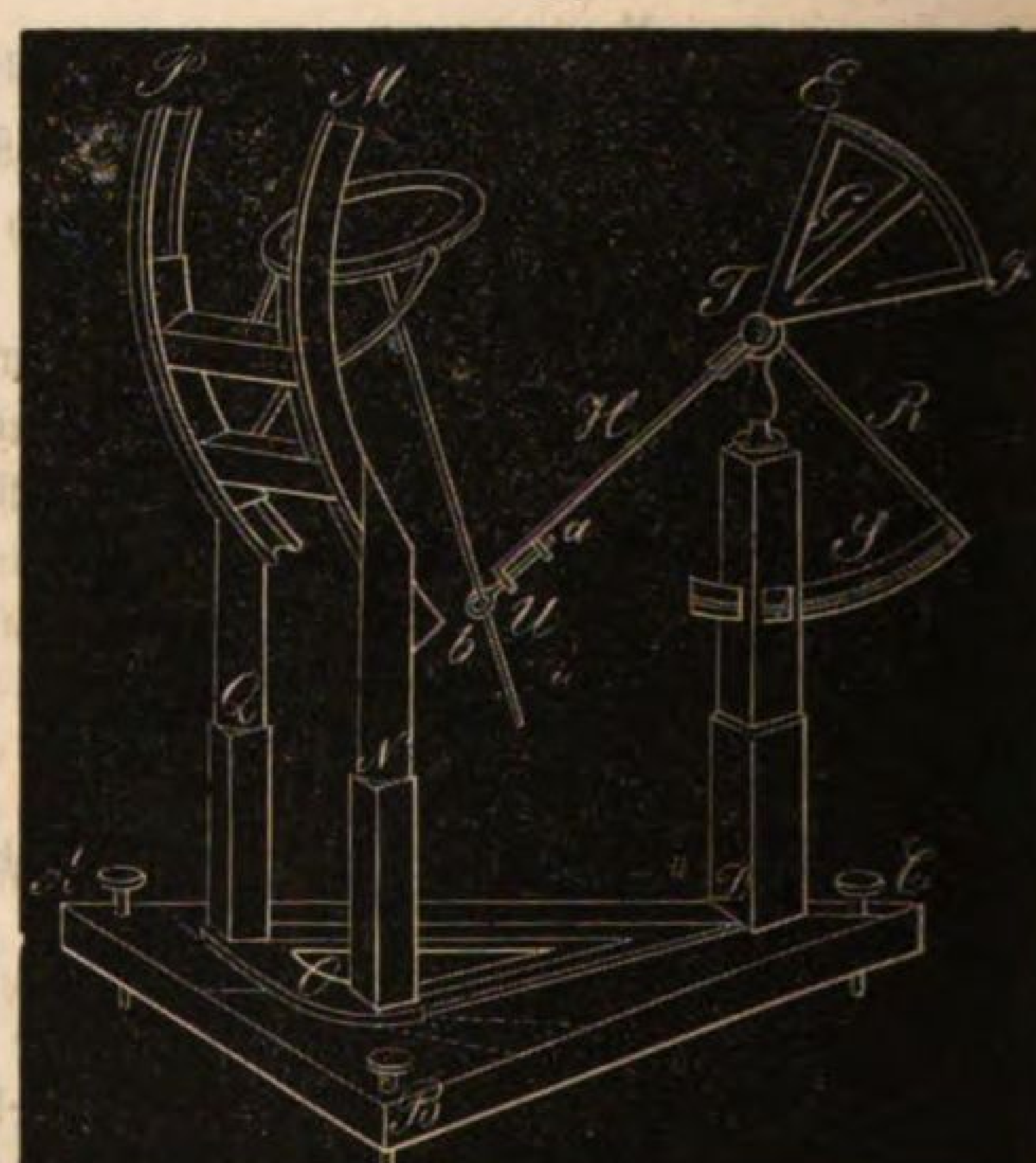
Da bei dem Fahrenheit'schen Heliostate eine zweimalige Reflexion des Lichtes stattfindet, so führt dies natürlich zu einer Schwächung der Intensität des Sonnenbildes. Doch hat derselbe seiner Wohlfeilheit wegen und wo es auf die möglich größte Intensität des Lichtes nicht ankommt, seine Vorzüge vor manchen anderen Heliostaten, bei denen eine solche Schwächung des Lichtes nicht stattfindet.

Baumgartner giebt nachstehende Beschreibung eines Heliostates von Prandi *). SC (Fig. I.) sei ein Lichtstrahl, der den Spiegel Mm trifft, und von ihm nach der Richtung CA reflectirt wird. Man verlängere AC nach B, errichte CD senkrecht auf Mm und wähle den Punkt B so, daß BC = BD ist. Zieht man BE auf CD senkrecht, so wird dadurch der Winkel CBD halbirt. Dasselbe muß daher auch mit dem Winkel SCB durch Mm geschehen, weil Mm auf CD senkrecht steht. Es wird daher der Strahl SC stets nach CA reflectirt werden, wenn nur die Bedingungen erfüllt sind, daß CD auf Mm senkrecht steht, und BC = BD ist. Dreht sich überdies das Ganze gehörig um die mit der Weltaxe parallele BP, so wird die tägliche Bewegung der Sonne auf die Richtung von CA gar

I.



II.

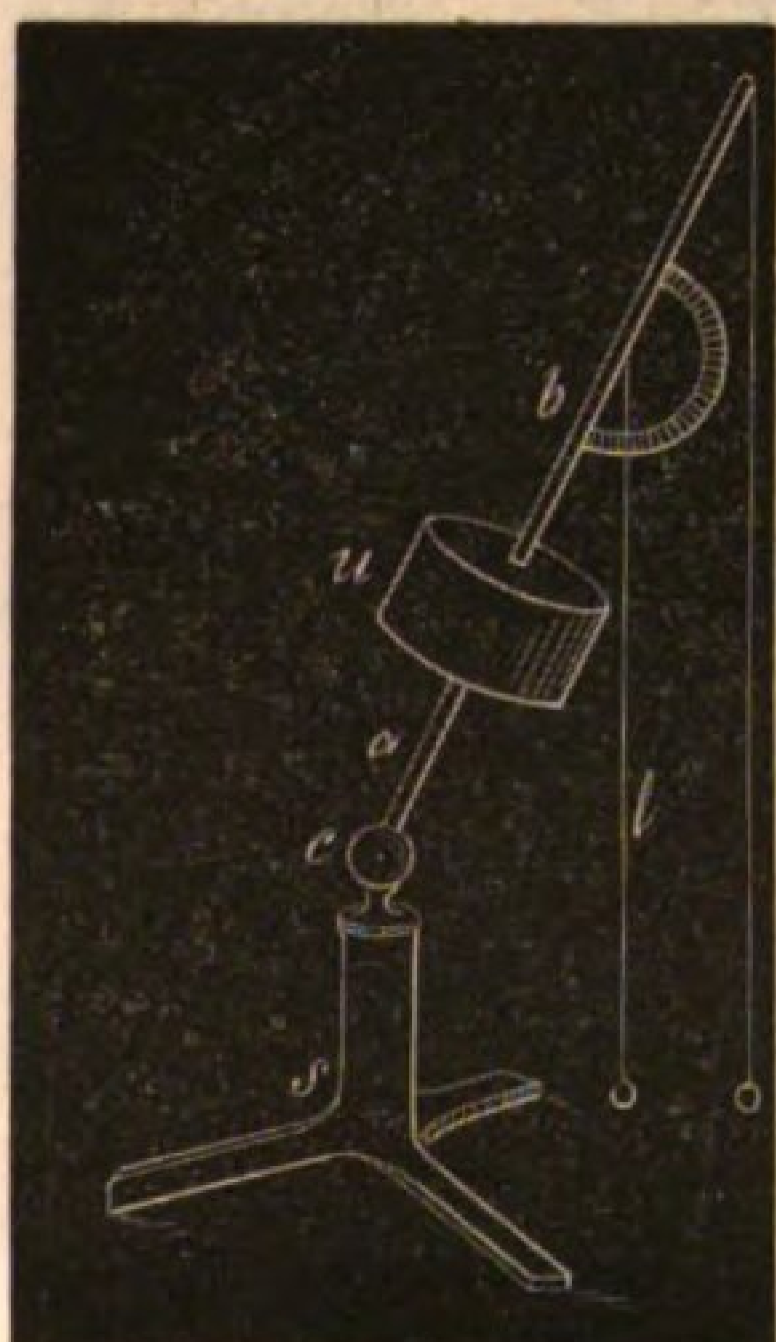


keinen Einfluß haben. Auf diesem beruht der in nebenstehender Fig. II. abgebildete Heliostat. ABC ist eine dreieckige Basis, die sich mittelst Stellschrauben horizontal stellen läßt; von C nach D geht eine gerade Linie, die beim Gebrauche des Instrumentes in den Meridian des Beobachtungsortes fallen muß, so daß C gegen Süd gerichtet ist. Nahe an C erhebt sich die verticale Säule D, deren Axe genau in DC fällt und sich in einem runden Kopfe endet, der den Bogen EF trägt, auf welchem der Radius G, welcher mit H unveränderlich verbunden ist und mit ihm in einer geraden Linie liegt, die Anzahl Grade und mittelst eines Nonius auch die Minuten abschneidet, welche die Polardistanz des einfallenden Sonnenstrahles bezeichnen.

*) Nuov. collez. di opusc. scient. Bologna 1825. Heft 6. p. 244.

R ist ein mit der Weltaxe paralleler und mit der Uhr verbundener Stift, welcher seine gehörige Stellung mittelst des Gradbogens S erhält. An H ist eine eigene Klammer a b befestigt, die genau durch den Mittelpunkt des Knopfes der Säule D geht und den auf der Ebene des Spiegels K senkrechten Stift L aufnimmt. Der Spiegel ist überdies mittelst einer Gabel an M N, P Q befestigt, doch läßt sich der Stift dieser Gabel leicht um seine eigene Axe drehen. Wenn nun L auf der Ebene des Spiegels senkrecht gestellt und T U = T K ist, so wird dies beim Drehen des Apparates um die Axe R stets so bleiben und deshalb der reflectirte Strahl ununterbrochen dieselbe Richtung beibehalten. Prandi giebt auch eine Vorrichtung an, welche gestattet, diese Richtung des reflectirten Strahles nach Belieben abzuändern. Das Wesentliche dieser Einrichtung besteht darin, daß sich der Stift L auf einer Kugelfläche bewegen läßt, wodurch weder die senkrechte Lage von L auf dem Spiegel, noch die Gleichheit der Abstände T K und T U geändert wird. Da aber diese Bewegung nur im verticalen und horizontalen Sinne zu erfolgen braucht, so reicht man mit folgender Einrichtung aus. Q und N sind zwei verticale Stützen, die mit dem horizontalen Bogen O verbunden sind, welcher sich in einem an der Basis angebrachten kreisförmigen Ausschnitte verschieben läßt, und P Q und M N zwei verticale Kreisbögen, in welchen die viereckige Rahme verschiebbar ist, die den Gabelstift des Spiegels trägt.

An dem s'Gravesand'schen Apparate *), der eine einmalige Reflexion zuläßt, wurden Abänderungen von Charles und Malus **) angebracht. Bequemer, obgleich dem Anscheine nach complicirter als der s'Gravesand'sche ist ein von Gambey construirter Heliostat, der von Hachette ***) ausführlich beschrieben und erörtert worden ist.



August ****) hat einen sehr einfachen Heliostaten mit einem Spiegel angegeben, dem eine weitere Vereinfachung durch C. A. Grüel *****) zu Theil geworden ist. Eine Axe, welche ein Uhrwerk u und einen Planspiegel, dessen Ebene dieser Axe parallel ist, trägt, wird in die Richtung der Weltaxe gebracht, so daß der Winkel, den sie mit dem Horizonte macht, jedesmal der Polhöhe des Beobachtungsortes gleich ist. Die Einstellung geschieht mittelst des Charnirs C und des getheilten Halbkreises nebst den Lothen l, indem man das Stativ s so rückt, daß die Lothe auf eine bestimmte Meridianlinie einspielen, und dann die Axe a so richtet, daß das eine Loth auf dem Halbkreise einen Bogen abschneidet, welcher der Polhöhe

*) Physices elem. math. auct. s'Gravesande. p. 715. Biot, Traité de Phys. Tome III. p. 175.

**) Vergl. Hachette in Journ. de l'Ecole polytechnique. 1813. Heft 16.

***) Bulletin de la Société d'Encouragement. 25 Ann. (1826) p. 105. Poggend. Ann. Bd. XVII. S. 71. Radicke, Optik. Bd. II. S. 375.

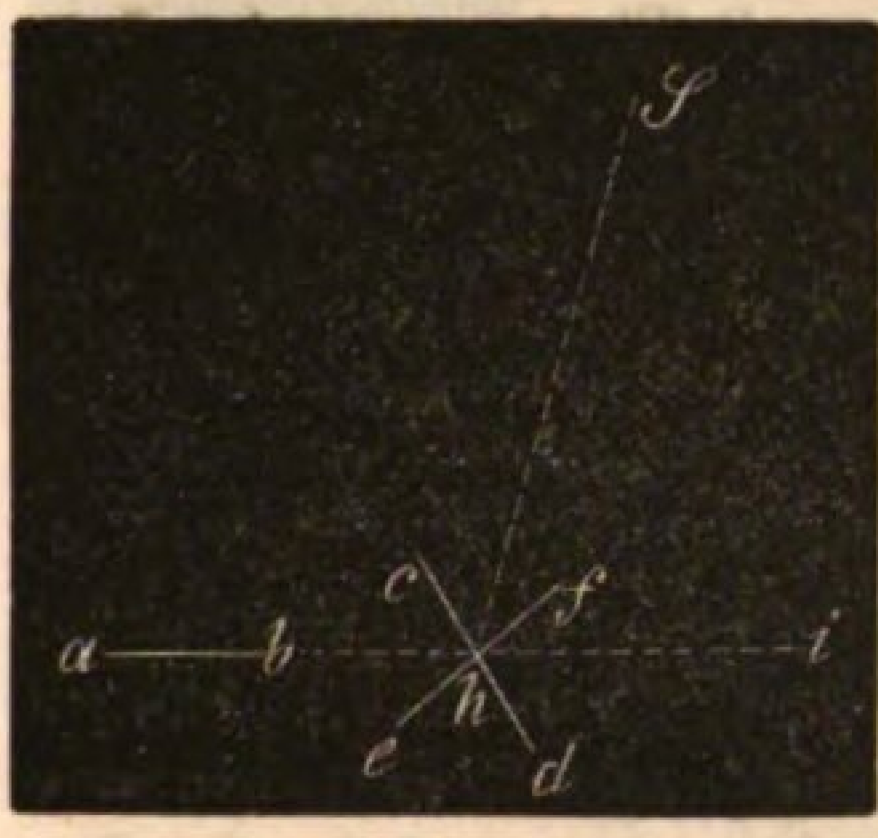
****) Fischer's Lehrbuch der mech. Naturlehre. Th. II. August bearbeitet.

*****) Poggend. Ann. Bd. LXXII. S. 432.

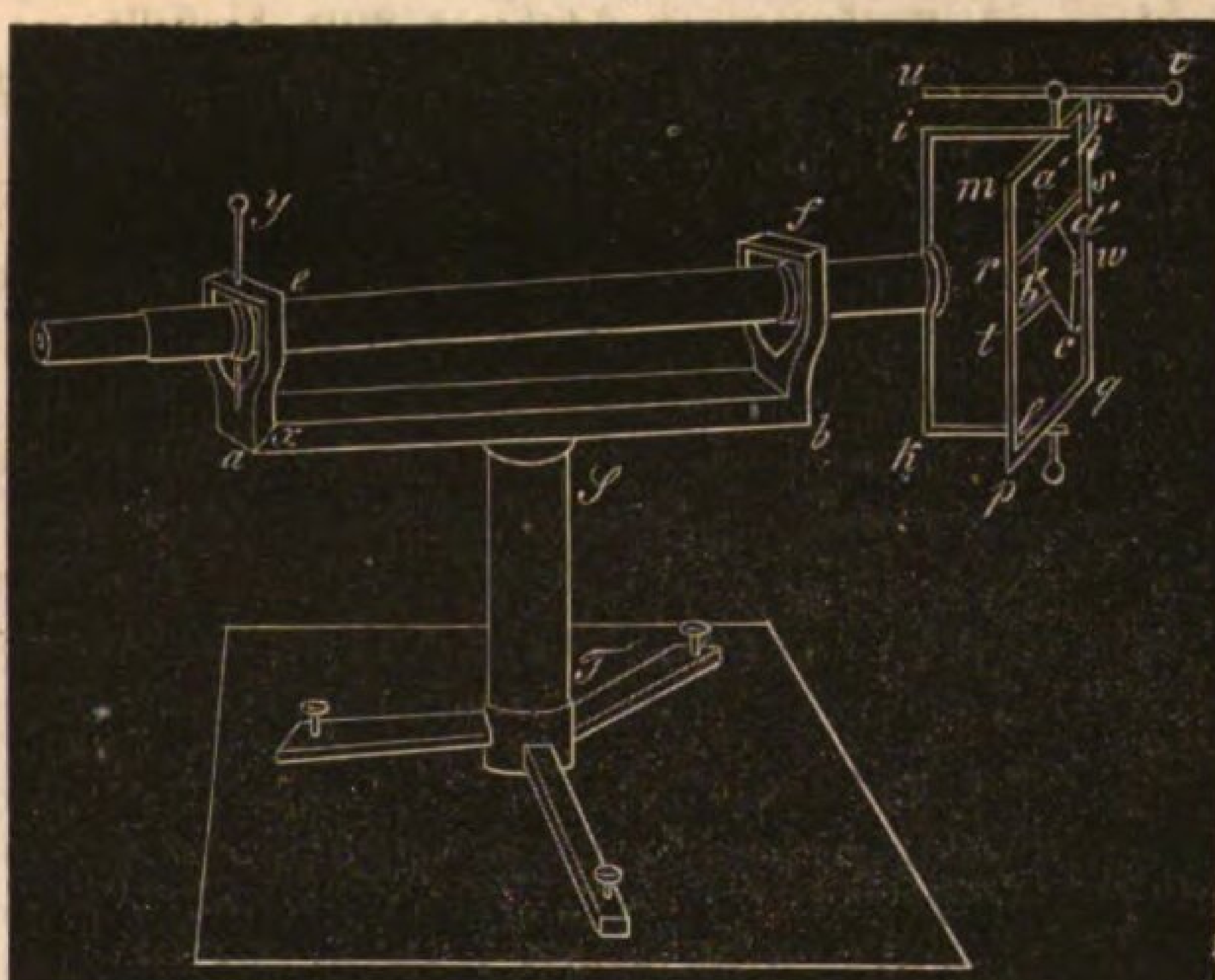
gleich ist. Der Stab b kann nach Einstellung der Axe a wieder abgenommen, und statt seiner ein anderer mit dem Spiegel aufgesteckt werden. Durch das Uhrwerk wird der Axe eine gleichmäßige Drehung ertheilt, so daß sie innerhalb 24 Stunden gerade eine halbe Umdrehung dem täglichen scheinbaren Laufe der Sonne gemäß vollendet. Hat man nun dem Spiegel anfänglich eine solche Stellung gegeben, daß der von ihm reflectirte Strahl die beabsichtigte Richtung erhielt, so bleibt die letztere beim Fortrücken der Sonne dieselbe. Wenn der Spiegel ruhte, würde der reflectirte Strahl, in Folge der täglichen Bewegung der Sonne, innerhalb einer Stunde 15° nach einer dem Sonnenlaufe entgegengesetzten Richtung zurücklegen. Durch die drehende Bewegung des Spiegels aber, welche in einer Stunde $7^0 1/_2$ beträgt, wird er in dieser Zeit um 15° nach einer mit dem Sonnenlaufe übereinstimmenden Richtung bewegt. Da nun einerseits die Sonne, andererseits der Gang des Instruments beide Bewegungen, mithin deren entgegengesetzte Erfolge gleichzeitig hervorbringt, so muß hieraus für den reflectirten Strahl eine unveränderliche Richtung resultiren. Die Aenderung der Declination der Sonne kann unberücksichtigt bleiben, falls die daraus entspringende Ungenauigkeit in der kurzen Zeit des Versuches zu unbedeutend ist. Dagegen läßt sich mit diesem Apparate nicht, wie bei anderen Heliostaten, der reflectirte Strahl nach jeder beliebigen Richtung lenken, da die zur Verfügung stehenden Strahlen ausschließlich in der Oberfläche eines Kegels liegen, dessen Spitze der Spiegel bildet und dessen Basis durch die eben statthabende Declination der Sonne bestimmt ist. Dieser Umstand ist jedoch meist in sofern nicht störend, als von den vielen in jeder Kegelhülle liegenden Strahlen durch Stellung des Spiegels derjenige ausgewählt werden kann, welcher sich den Localitätsverhältnissen und dem Versuche am besten anpaßt. Doch würde durch Hinzufügung eines zweiten Spiegels nöthigenfalls auch jede gewünschte Richtung zu erzielen sein. Grüel hat nun von diesem Apparate auch noch das besondere Uhrwerk hinweggenommen, und statt dessen eine gewöhnliche Taschencylinderuhr in Anwendung gebracht. Sein Heliostat besteht nämlich aus dem an einer drehbaren Axe befestigten Metallspiegel und einer Verbindung von drei Rädern, welche mit Hülfe conischer Getriebe zuletzt auf diese Axe wirken und sie in passender Geschwindigkeit bewegen. Das Ganze ruht auf einem länglichen mit Stellschrauben versehenen Brett. Die Räderverbindung, innerhalb einer leichten messingenen Zarge etwa $1^5/_8$'' über dem Brett angebracht, wird durch die Axe des Minutenzeigers der geöffneten und auf einem verstellbaren Support liegenden Cylinderuhr hergestellt. Das erste Rad hat an dem unteren Ende seiner Axe ein an zwei Gelenken befestigtes Canon, welches sich durch Höherstellen des Supportes mit der Uhr leicht in Verbindung bringen läßt und zugleich die etwa nicht vollkommen centrische Lage der Uhr unter dem Rade unschädlich macht. Diesen Dienst zu verrichten ist die kleinste und schwächste Uhr fähig, da ihre Bewegung bei 48maliger Verlangsamung mit einem bedeutenden Kraftgewinn auf den Spiegel übertragen wird. Eine Unregelmäßigkeit im Gange der Uhr, von etwa 5 Minuten täglich, hat nur einen unbedeutenden Einfluß auf die Richtung des reflectirten Strahles, da die Differenz, einer Berechnung zufolge, nach Verlauf einer Stunde nur 0,052 beträgt. Von besonderer Wichtigkeit für die constante Richtung des Strahles ist aber die Aufstellung und Orientirung des Instruments, welche jedoch, wenn sie einmal geschehen ist, auch später wieder leicht bewerkstelligt werden kann.

Heliotrop (ἥλιος; τρέπω, wenden) ein Instrument, welches namentlich bei geodätischen Operationen benutzt wird, um das Sonnenbild als Signal- oder Visirpunkt auf den entfernten Beobachter zu werfen. Da nämlich alle Signalpunkte, die man bei größeren Messungen gebrauchen kann, sich entweder als unbestimmt oder unbequem erwiesen, und selbst die Blickfeuer, welche bei geringem Umfange noch in bedeutenden Entfernungen wahrgenommen werden können, kostbar sind und ihre Wahrnehmung durch Zufall vereitelt werden kann, so hat Gauß bei Gelegenheit der Gradmessung im Königreiche Hannover ein Instrument angegeben, bei welchem die Blickfeuer durch von Spiegeln reflectirte Sonnenstrahlen ersetzt werden. Es seien cd und ef (Fig. I.) zwei auf einander senkrecht befestigte Spiegelebenen, so daß also fhc und fhd rechte Winkel sind, und das Fernrohr ab sei so aufgestellt, daß man den Punkt i, dem man den Sonnenstrahl zuwerfen will, in der Mitte des Fernrohres sieht. Darauf drehe man beide Spiegel so, daß der Sonnenstrahl aus dem Spiegel fe ins Fernrohr geworfen werde, oder mit der Richtung ba zusammenfalle. Alsdann wirft der andere Spiegel cd den Sonnenstrahl nach i. Ist nämlich sh der directe Sonnenstrahl und ha der reflectirte, so ist shc = ahc und auch, da ahc und dhi als Scheitelwinkel gleich sind, shc = dhi. Der von ch reflectirte Strahl wird also nach i gelangen. Die Einrichtung des Instrumentes ist nun im Wesentlichen folgende.

I.



II.



abfe (Fig. II.) ist ein sehr massiver Träger, worin das Fernrohr liegt, und dieses wird durch die Deckel bei e und f mit beträchtlicher Reibung in den Lagern gehalten. Dieser Träger ruht auf einem mit Stellschrauben versehenen Dreifuße. Das Fernrohr kann durch horizontale Drehung um die in der Säule ST befindliche

Axe leicht auf den Gegenstand gerichtet werden, dem der Sonnenstrahl zugeworfen werden soll, und es läßt sich dann, vermittelst der Stellschrauben des Dreifußes, ganz genau auf denselben richten. Bei x y und u v sind zwei Handgriffe, der erstere um das Fernrohr mit dem daran befestigten die Spiegel tragenden Rahmen in seinem Lager zu drehen, der letztere, um beiden Spiegeln eine Drehung mitzutheilen. y und v sind Gegengewichte dieser Handgriffe x und u. Am Objectivende des Fernrohres ist ein aus drei rechtwinklig an einander gefügten Stücken bestehender Rahmen h i k l befestigt, und dieser trägt einen zweiten, um die Axe h l drehbaren Rahmen n m p q. Da der erstere sich um die beinahe horizontale Axe des Fernrohres drehen kann, der zweite aber sich um eine auf die vorige senkrechte Axe dreht, so läßt sich die Ebene der letzteren in jede willkürliche Stellung bringen. Dieser letztere Rahmen enthält die beiden, nur eine einzige Spiegelebene ausmachenden Spiegel m n s r und t w q p, die hinten mit Platten verwahrt sind, und Stellschrauben haben, um das genaue Zusammenfallen der Ebenen beider zu bewirken. Mit ihnen ist fest und in rechtwinkliger Stellung verbunden der schwarze Spiegel a′b′c′d′, der an seiner hinteren Seite einen Arm oder Schwanz hat, um durch Stellschrauben in die ganz genaue gegen den vorigen Spiegel rechtwinklige Stellung gebracht zu werden. Dieser letztere Spiegel wirft dem Auge des Beobachters das Sonnenbild zu. Bei dem Gebrauche des Instruments stellt man es so, daß die Mitte des Fadenkreuzes auf den Punkt trifft, den der entfernte Beobachter einnimmt. Dann dreht man das Fernrohr um seine Axe und die verbundenen Spiegel um die Axe h l, und zwar nimmt man diese Drehungen so vor, daß man das Sonnenbild ins Fernrohr und auf die Mitte des Fadenkreuzes bringt. Sobald dieses der Fall ist, sieht der entfernte Beobachter das Sonnenbild in dem aus zwei Stücken bestehenden Spiegel. Dieser größere Spiegel braucht indessen selbst nur von geringer Größe zu sein, da ein Spiegel 2 Zoll breit und $1^1/_2$ Zoll hoch schon ein auf sehr große Entfernungen sichtbares Bild darstellt. — Zur Beurtheilung der Brauchbarkeit dieses Instrumentes dienen folgende von Gauß gegebene Beispiele *). Die Entfernung vom Lichtenberge bis zum Berge Hill beträgt 39952 Meter; die des Deisters vom Hill 40605 Meter; die des Lichtenberges vom Brocken 42437 Meter. Auf den drei ersten Entfernungen sah man das Licht immer fort mit bloßen Augen; auf der letzten Distanz war es, wenn die Umstände die Beobachtung irgend begünstigten, gleichfalls sichtbar und einmal, unter besonders günstigen Umständen sah man das vom Brocken aus reflectirte Licht sogar auf dem Hohenhagen in 69194 Meter = 213010 Par. Fuß Entfernung mit bloßen Augen. Im Fernrohre konnte man das Licht vom Inselberge auf dem Brocken in 105986 Meter Entfernung noch sehen. Für die genaueren Berichtigungen des Heliotropen hat Gauß eine besondere Anleitung **) gegeben.

Herbst, s. Jahreszeiten.

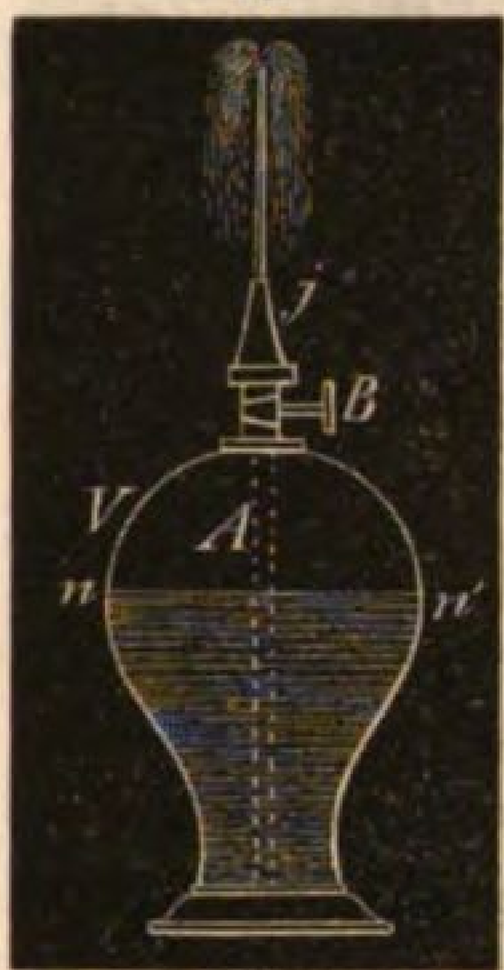
Heronsball nennt man eine physikalische Vorrichtung, welche von Hero aus Alexandrien herrührt. V (Fig. I.) ist ein Gefäß aus Kupfer mit sehr festen Wänden; A eine Röhre, welche mit dem Hahn B ein Ganzes ausmacht und bis nahe auf den Boden des Gefäßes hinabführt. Diese beiden Stücke sind gelöthet und ihre Verbindung

---

*) Zach, corre. astr. T. VI. p. 66.

**) Vergl. Schumacher's astronomische Nachrichten. Bd. V. S. 329.

I.



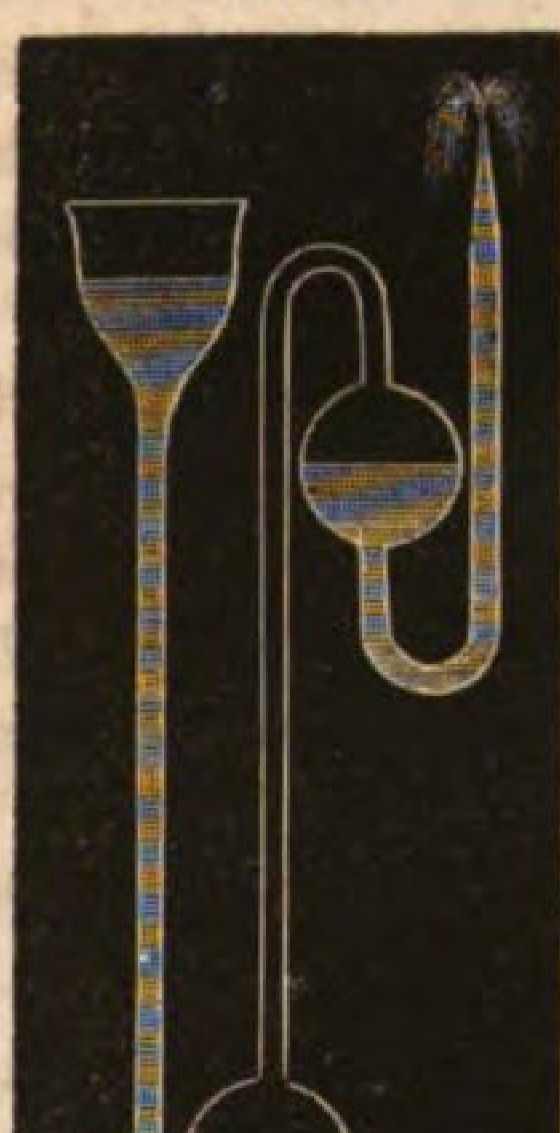
läßt sich auf den Hals des Gefäßes V schrauben; j ist ein mit einer feinen Oeffnung versehener Aufsatz, welcher über den Hahn B geschraubt wird. Nachdem das Gefäß bis n n' mit Wasser gefüllt ist, wird an die Stelle des Aufsatzes über dem Hahne B zuerst eine Compressionspumpe (s. Compressionsmaschine) gebracht, und damit die Luft in dem Raume n A n' zusammengepreßt. Hierauf nimmt man die Pumpe hinweg, schraubt den Aufsatz auf, dreht den Hahn und alsbald springt die Flüssigkeit zu einer bedeutenden Höhe empor. Man hat auch kleinere unter dem Namen Heronsball bekannte Apparate, welche aus Glas oder Metall bestehen, übrigens aber mit dem eben angegebenen Apparate völlig übereinstimmen. Um Wasser in sie zu bringen, verdünnt man erst die Luft im Gefäße, entweder indem man es mit einer Luftpumpe in Verbindung bringt, oder indem man es erwärmt oder auch wohl blos mit dem Munde die Luft aussaugt. Hierauf taucht man die Spitze unter Wasser, welches nun durch den äußeren Luftdruck in das Gefäß getrieben wird, bis die Luft im Innern wieder gleiche Dichtigkeit mit der atmosphärischen Luft hat. Endlich kann man ebenfalls mittelst der Luftpumpe die Luft im Innern des Gefäßes comprimiren, um nachher das Springen des Wassers zu bewirken, oder man kann das Gefäß über Kohlen oder eine Weingeistlampe setzen, um durch die Ausdehnung der Luft, welche die Wärme bewirkt, das Wasser zum Springen zu bringen.

Heronsbrunnen. Derselbe besteht aus drei Gefäßen, einem oberen offenen S (Fig. II.), einem mittleren M und einem unteren J; und drei Röhren, von denen die erste s i vom Boden des oberen Gefäßes nach dem Boden des unteren geht,

II.



III.



die zweite i m vom oberen Theile des unteren Gefäßes bis in die Höhe des mittleren Gefäßes reicht, und die dritte m s vom Boden des letzteren bis zu 2 oder 3 Decim. über das obere Gefäß sich erhebt. Diese dritte Röhre bildet den Strahl des Heronsbrunnens. Durch das Mundstück B, welches nachher verschlossen wird, bringt man Wasser in das mittlere Gefäß M. Eben so bringt man Wasser in das offene Gefäß S, öffnet den Hahn r der Sprungröhre, und die Flüssigkeit springt bis zu einem Punkte empor, welcher der Theorie nach so hoch über dem Niveau des mittleren Gefäßes ist, als das Niveau des oberen Gefäßes über dem Niveau des unteren ist. Das Wasser gelangt nämlich aus dem offenen Gefäße S durch si nach J, wo die Luft durch die Flüssigkeitssäule s i zusammengedrückt wird. Dieser Druck pflanzt sich durch i m auf die Luft und das Wasser im Gefäße M fort, so daß derselbe das

Wasser in diesem Gefäße, wie in einem Heronsballe, durch m r empor treibt. Noch einfacher ist der aus Glas geblasene Heronsbrunnen (Fig. III.), welcher den Gang desselben sehr übersichtlich darstellt.

Heteromerie — aus ἑτερος (anders) und μερος (Theil, Antheil) zusammengesetzt. — Ungeachtet der zahlreichen Analysen, welche wir aus älterer Zeit, selbst von den sorgfältigsten Analytikern, über die Turmaline besitzen, war man nicht im Stande aus diesen Angaben, wegen der bedeutenden Schwankungen im Sauerstoffgehalt, eine gemeinschaftliche Formel für diese Mineralgattung aufzustellen. Hierdurch sah sich Hermann veranlaßt eine neue Untersuchung der Turmaline vorzunehmen, die sich jedoch nur auf russische Vorkommnisse beschränkten *). Bei der Berechnung der Resultate seiner Analysen nimmt Hermann an, daß die Kieselsäure = $\dot{\mathrm{S}}$ zusammengesetzt sei; ferner daß die von ihm in diesen Mineralien zuerst aufgefundene Kohlensäure einen Theil der Borsäure ersetze, in Folge dessen er die letztere als $\ddot{\mathrm{B}}$ zusammengesetzt ansieht. Sodann beobachtete er, daß das Eisen hier in verschiedenen Oxydationsstufen auftrete, die bis dahin unberücksichtigt geblieben waren. Mit Rücksicht auf diese Umstände theilt er die Turmaline in drei Species: Schörl, Achroit und Rubellit. Das Verhältniß des Sauerstoffs stellt sich hier folgendermaßen:

Sauerstoff von	$\dot{\mathrm{R}}$	:	$\dddot{\mathrm{R}}$	:	$(\ddot{\mathrm{B}}, \ddot{\mathrm{c}})$	:	$\dot{\mathrm{Si}}$
im Schörl =	1	:	3	:	2	:	4
„ Achroit =	1	:	9	:	2	:	9
„ Rubellit =	2	:	9	:	2	:	9.

Hiernach berechnet er dafür folgende Formeln:

Schörl — Achroit — Rubellit

$$\dot{\mathrm{R}} \left\{ \begin{matrix} \dddot{\mathrm{B}} \\ \ddot{\mathrm{c}} \end{matrix} \right. + \dddot{\mathrm{Al}}\ \dot{\mathrm{Si}}^2 \quad 2\,\dot{\mathrm{R}} \left\{ \begin{matrix} \dddot{\mathrm{B}} \\ \ddot{\mathrm{c}} \end{matrix} \right. + 3\,\dddot{\mathrm{Al}}^2\ \dot{\mathrm{Si}} \quad 2\,\dot{\mathrm{R}}^2 \left\{ \begin{matrix} \dddot{\mathrm{B}} \\ \ddot{\mathrm{c}} \end{matrix} \right. + 3\,\dddot{\mathrm{Al}}^2\ \dot{\mathrm{Si}}^3.$$

Ungeachtet der sehr abweichenden chemischen Constitution, krystallisiren diese drei Species dennoch in derselben Form und unter denselben Winkeln. Hermann findet hierin den Beweis, daß eine gleiche Krystallform nicht immer einer gleichen oder isomorphgleichen Zusammensetzung entspricht; hierdurch fand er sich veranlaßt eine neue chemische Hypothese in die Mineralogie einzuführen: die Heteromerie. Heteromere Verbindungen nennt Hermann daher solche, die, unabhängig von Isomorphie, bei gleicher Krystallform ganz unähnlich zusammengesetzt sein können, d. h. solche, deren Elemente nicht blos der Zahl nach, sondern auch in ihrer chemischen Natur verschieden sind. Durch diese neue Lehre würde also, falls sie begründet wäre, der Satz, „daß gleiche Form bei gleicher qualitativer Mischung gleiche quantitative Mischung bedinge", wesentliche Modificationen erleiden.

Nach Hermann ist die Heteromerie eine sehr allgemeine Erscheinung, die bei den meisten einigermaßen entwickelten Mineralgruppen vorkommen dürfte. Aus einem von ihm aufgestellten Verzeichniß der bekannteren heteromeren Mineralien **) ergiebt sich, daß Heteromerie weder an die Qualität der Elemente, noch an die

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. XXXV. S. 232.
**) Journ. für prakt. Chem. Bd. XLIII. S. 43.

stöchiometrischen Proportionen ihrer Verbindungen, noch an bestimmte Krystallformen gebunden sei. Er findet solche bei Schwefelverbindungen, bei einfachen Oxyden, bei Phosphaten, bei Arseniaten, bei Silicaten und bei Hydraten; bei Mineralien, die nach dem regulären, dem tetragonalen, dem hexagonalen, dem rhombischen, dem monoklinoëdrischen und dem triklinoëdrischen Systeme krystallisirt waren.

In Betreff der Theorie der Heteromerie schließt sich Hermann den Ansichten Hauy's über die Structur und die Bildung der Krystalle an; gleich ihm betrachtet er die Krystalle als nach bestimmten Regeln aufgeführte Gebäude, deren Bausteine oder Molecüle eine bestimmte Form haben müssen. Hauy nahm an, daß nicht allein alle Molecüle eines Krystalles, sondern auch alle Krystalle derselben Form, mit alleiniger Ausnahme der Formen des regulären Systemes, dieselbe chemische Zusammensetzung hätten. Diese Hauy'schen Molecüle nennt Hermann normale, d. h. chemisch identische. Mitscherlich machte nun auf Ausnahmen von der Hauy'schen Regel aufmerksam, indem er bei seinen Untersuchungen gefunden hatte, daß Krystalle von gleicher Form häufig verschiedene Elemente oder Verbindungen verschiedener Elemente enthalten könnten. Doch standen auch hier Form und Mischung in inniger Beziehung zu einander, indem bei diesem Austausch zwar die Qualität der Mischung verändert wurde, sich aber hierbei die Elemente oder Verbindungen Atom für Atom ersetzten, so daß ein Einfluß auf die stöchiometrischen Verbindungen hierbei nicht ausgeübt wurde. Hermann nennt daher isomorphe Atome solche, welche zwar chemisch different sind, aber aus einer gleichen Anzahl analog gruppirter Elementaratome bestehen. Auch bei diesen Untersuchungen zeigten sich wieder Ausnahmen, die man, wie Hermann sagt, durch allerlei Hypothesen zu erklären suchte, um die stöchiometrische Constitution dieser abweichenden Fälle mit einander in Einklang zu bringen. Hermann nimmt daher noch eine dritte Art von Molecülen an, die heteromeren, die bei gleicher Form eine verschiedene stöchiometrische Constitution haben. In Betreff der Beziehungen dieser Molecüle zu den beiden anderen Arten von gleicher Form giebt es nicht einmal eine Andeutung von Gesetzlichkeit. Die Qualität der Elemente, die Art ihrer Verbindung, die Anzahl der Atome, Alles kann verschieden sein von der Zusammensetzung der anderen Molecüle; nur durch die Form sind sie mit einander verbunden. Und dies reicht aus, um sie brauchbar zu machen zu Bausteinen von Krystallen von entsprechender Form.

Die Grundlehre der Heteromerie ist demnach, daß sich Körper von gleicher Form, unbehindert ihrer verschiedenen stöchiometrischen Constitution mit einander unter Beibehaltung der Form vereinigen können, sobald sie nur den erforderlichen Grad der Molecular-Anziehung zu einander haben. Wäre das Letztere der Fall, so würden sich Natronsalpeter und kohlensaurer Kalk (NaO, No^5; CaO, Co^2), ungeachtet sie, wie dies ein Blick auf die Formel lehrt, in Natur, Anzahl und Gruppirung der Atome so sehr von einander verschieden sind, zu Krystallen von der Form des Kalkspathes und Kalisalpeter und Arragonit zu solchen von der Form des letzteren vereinigen, eben so gut, als sich titansaures Eisenoxydul und Eisenoxyd zu regelmäßigen Krystallen von der Form des Eisenglanzes verbinden. Bei letzteren ist die nöthige Attraction vorhanden, während sie bei den ersteren fehlt. Ueberhaupt trifft man diesen hohen Grad der Molecular-Anziehung nur selten an und deshalb kommen auch heteromere Körper seltener vor als isomorphe. Aus

diesem Grunde hat man sie auch noch nicht künstlich darstellen können. Am häufigsten entstanden sie beim Uebergang der plutonischen Gesteine aus dem glühend flüssigen Zustande in den starren, mithin beim Ausscheiden aus breiartigen Massen, wo also die Zähigkeit der Masse der freien Wirkung der Attraction bedeutende Hindernisse in den Weg legen mußte. Und in der That sind nach Hermann alle Gemengtheile der plutonischen Gesteine heteromer, besonders: Augite, Hornblenden, Glimmer, Chlorite, Feldspathe, Albite; an diese reihen sich die auf gleiche Weise entstandenen: Turmaline, Cordierite, Scapolithe, Epidote &c.

Ein Krystall kann also eine regelmäßige Form annehmen, mag er nun in der Lage sein, sich blos normale Molecüle aneignen zu können, oder gezwungen sein, sich durch isomorphe oder heteromere Molecüle zu ergänzen. Nach Maßgabe dieser Umstände ist aber die Mischung bedeutenden Schwankungen unterworfen und daher hat die Heteromerie eine große Bedeutung für die richtige Erkenntniß der Mischung der Mineralien. Dergleichen heteromerische Gemenge behalten, da die einzelnen Gemengtheile gleiche Form besitzen, auch die ursprüngliche Form der Gemengtheile bei. Sie erscheinen als regelmäßig krystallisirte Mineralien und haben daher den krystallographischen Charakter chemischer Verbindungen. Bei der Analyse erweisen sie sich aber als Gemenge. Um aber zu einer richtigen Erkenntniß zu gelangen, müssen ganze Reihen von Mineralien mit gleicher Grundform untersucht werden, denn erst durch das Auffinden der primitiven heteromeren Glieder wird das Räthsel gelöst, eine Einsicht gewährt, um die Abweichungen unter einander in Einklang zu bringen. Ist aber die Anzahl der heteromeren Glieder groß, so hält es selbst hier noch schwer ihre Natur richtig zu erkennen, und hierin liegt nach Hermann der Grund, weshalb man für verschiedene Gruppen trotz der sorgfältigsten Analysen keine übereinstimmende Formeln aufstellen kann. Nur da, wo sich die Formeln der heteromeren Gemenge ungezwungen aus denen der ursprünglichen Verbindungen herleiten lassen, hat man eine Bürgschaft für die Richtigkeit derselben.

Für die Entwickelung der neuen Theorie dienen Hermann seine Analysen der Epidote *) als Grundlage. Außerdem hat er hier die Heteromerie auch noch an vielen anderen Mineralien nachgewiesen. In einer großen Reihe von Abhandlungen, die sich alle in dem Journal für praktische Chemie finden, hat Hermann diesen Gegenstand weiter behandelt und zahlreiche neue heteromere Mineralfamilien aufgestellt.

Daß Körper vorkommen, die bei gleicher oder nahe gleicher Form eine verschiedene Zusammensetzung zeigen, sei es in der Zahl oder der Stellung oder der chemischen Natur ihrer Elementaratome, war eine bereits seit langer Zeit bekannte Thatsache. Deshalb hatte auch bereits die Theorie der Isomorphie, durch den Satz: „Körper von nahe übereinstimmender Krystallform haben nahe übereinstimmende oder proportionale Atomvolume, sei ihre chemische Natur auch welche sie wolle" eine Erweiterung erhalten, in der auch jene Vorkommnisse ihre Erklärung fanden. Obgleich im Interesse der Wissenschaft durchaus gefordert werden muß, daß man beim Aufstellen neuer Hypothesen sorgfältig prüfe, ob die Thatsachen sich nicht auch durch die schon vorhandenen Ansichten erklären lassen, so hat

*) A. a. O. S. 35 und 81.

sich doch Hermann hierauf durchaus nicht eingelassen, und daher hat seine neue Ansicht manche Gegner gefunden. Namentlich Rammelsberg geht in dem 4. Supplement zu seinem Handwörterbuch des chemischen Theiles der Mineralogie S. XXII. die bis dahin von Hermann zur Stütze der Heteromerie aufgestellten Thatsachen einzeln durch. Er zeigt hier, daß meistens der eben angeführte Satz zur Erklärung der Thatsachen ausreiche und in einigen Fällen die neue Hypothese auf sehr unsichere Analysen gegründet sei. Er versagt dieser Theorie durchaus die Zustimmung, da sie unter der Zahl der Mineralien auch nicht eine entscheidende Stütze habe und namentlich, da sie durch keine der zahlreichen künstlich dargestellten Verbindungen bestätigt werde. Die Analysen des Epidot, die Hermann besonders als Stütze seiner neuen Hypothese benutzte, unterwirft Rammelsberg (a. a. O. S. 56) noch besonders einer eingehenden Kritik, deren Resultat dahin lautet, daß die Hypothese der Heteromerie durchaus keine nothwendige Bedingung für die Erklärung der Thatsachen ist. Er hebt hierbei hervor, daß Hermann bei der Anordnung der Resultate seiner Analysen mit großer Willkür zu Werke gegangen sei und daß die Analysen selbst wohl nicht frei von Fehlern seien. Hermann erwiderte hierauf *), doch können wir in diesen Streit, der sich noch mehr ausdehnte, nicht weiter eingehen.

Hermann hatte seine Analysen der Turmaline, bei deren Mittheilung er zuerst von der Heteromerie spricht, nur auf fünf verschieden gefärbte Varietäten beschränkt, von denen noch dazu vier in einem engen Bereich vorkommen. Die wichtigen Schlüsse, welche er dessen ungeachtet aus dieser Arbeit zog, veranlaßten Rammelsberg **) zu einer neuen ausgedehnten Untersuchung über diesen Gegenstand, die mehrere Jahre in Anspruch nahm. Die Zahl der untersuchten Varietäten beläuft sich auf dreißig und die der einzelnen Analysen auf mehr als hundert. Er erkannte hierbei, daß die großen Schwankungen in der Zusammensetzung dieses Minerales in ihrer inneren Natur begründet und keineswegs als Folge von Zersetzungen anzusehen seien. Der Turmalin ist also ein evidentes Beispiel, wo gleiche Form nicht an analoge Zusammensetzung gebunden ist, wie in den gewöhnlichen Fällen der Isomorphie. Es gelingt hier nicht durch Consumtionen der Bestandtheile jene Analogie hervorzubringen. Rammelsberg theilte alle untersuchten Turmaline in zwei Abtheilungen und diese wieder in fünf Gruppen. Er erklärt die Isomorphie der die einzelnen Gruppen bildenden Verbindungen durch die Proportionalität der Atomvolume.

Hermann sieht dagegen diese Analysen gerade als eine Hauptstütze für seine Hypothese der Heteromerie an ***). Er macht darauf aufmerksam, wie bedeutend in den Formeln die Differenzen zwischen Versuch und Rechnung seien und dies sieht er als einen Beweis für die Unrichtigkeit der Methode an, die Analysen zu interpretiren. Nimmt man dagegen an, daß die Borsäure in den Turmalinen Thonerde vertrete, so vereinfacht sich die Sache sehr. Die Turmaline würden dann aus primitiven heteromeren Molecülen von folgender Zusammensetzung bestehen:

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. LII. S. 250.
**) Poggend. Ann. Bd. LXXX. und Bd. LXXXI. S. 1.
***) Journ. für prakt. Chem. Bd. LIII. S. 288 und Bd. LV. S. 451.

$$(a) = \dot{R}^2\,\dddot{Si} + 2\left.\begin{matrix}\overline{\dddot{Al}}\\ \dddot{B}\end{matrix}\right\}\dddot{Si}$$

$$(b) = \dot{R}\,\dddot{Si} + 6\left.\begin{matrix}\overline{\dddot{Al}}\\ \dddot{B}\end{matrix}\right\}\dddot{Si}$$

Durch Zusammenkrystallisiren liefern diese nun die verschiedenen Mischungen. Rammelsberg's Analysen sollen nun weiter zeigen, wie die Mischung des Turmalines von Gouverneur mit der Sauerstoffproportion = 1 : 225 : 3,87 durch eine lange Reihe von Zwischengliedern ganz allmälig und ohne große Intervalle in die des rothen Turmalines von Elba mit der Sauerstoffproportion = 1 : 11,33 : 14,1 übergeht.

Naumann versuchte *) eine neue Interpretation der Turmalin-Analysen von Rammelsberg, die sehr nahe mit dem Verhältniß zusammenhängt, welches Hermann unter dem Namen Heteromerie eingeführt hat. Auch nach ihm besteht für die meisten Turmaline eine Art von Heteromerie. Allein die beiden heteromeren und isomorphen Substanzen, die Naumann für die Turmaline annimmt, sind durch ein gemeinsames chemisches Grundgesetz an einander gekettet und in unbestimmten Verhältnissen mit einander verbunden. In solcher Weise dürfte der Begriff der Heteromerie nach Naumann's Ansicht wohl auch bei manchen anderen Mineralspecies seine Verwirklichung gefunden haben.

Nach Scheerer **) fällt Hermann's Heteromerie, so weit sie sich überhaupt bis jetzt auf Gesetze zurückführen läßt, mit der Polymerie zusammen. Auch v. Kobell pflichtet dieser Ansicht bei ***). Er meint ferner, daß, um diese Verhältnisse nicht durch zwei verschiedene Namen unklarer zu machen, es vorzuziehen sei, die ältere von Scheerer herrührende Bezeichnung einstweilen allein anzuwenden und den Ausdruck Heteromerie ganz fallen zu lassen. Hermann wendet dagegen aber ein ****), daß diese Heteromerie sich durchaus von der Isomorphie und der polymeren Isomorphie unterscheide, indem die Gleichheit der Form der Molecüle ganz unabhängig sei von ihrer stöchiometrischen Constitution, während bei der Isomorphie stets 1 Atom eines Körpers durch 1 Atom eines anderen und bei der polymeren Isomorphie aber 1 Atom eines Körpers durch 2 oder 3 Atome eines anderen vertreten werden müsse. W. B.

Himmel, Himmelskugel, Himmelsgewölbe, Firmament (Feste), Sphäre (Kugel), heißt das dem Auge erscheinende, die Erde überspannende blaue Gewölbe, an welchem sich, wie es scheint, die Gestirne sämmtlich angeheftet befinden, und das nach allen Seiten zu in die Erdscheibe (im Horizont) einzuschneiden oder auf ihr fest zu stehen scheint. Wir wissen jetzt, daß die Erde eine von einem Dunstkreise (Atmosphäre) umgebene Kugel ist, welche sich frei wie andere Weltkörper durch den unermeßlichen Weltraum bewegt, daß also das Himmelsgewölbe, die Halbkugel, über uns nur ein Schein ohne Wirklichkeit ist.

Die Gestalt des Himmels erscheint indeß dem Menschen nicht als die einer

---

*) Bericht über d. Verh. d. Gesellschaft d. Wissensch. zu Leipzig. Math. phys. Kl. 1852. S. 4.

**) Handwörterbuch der Chemie von Liebig, Poggendorff rc. Bd. IV. S. 196.

***) Journ. für prakt. Chemie. Bd. XLIX. S. 482.

****) Journ. für prakt. Chemie. Bd. LII. S. 256.

vollkommenen Halbkugel, sondern der Umstand, daß wir unbewußt die Entfernungen nach den zwischen uns und dem Ziele des Sehens gelegenen Gegenständen abschätzen, bewirkt, daß wir die Entfernung der Linie, in welcher das Himmelsgewölbe auf der Erde zu ruhen scheint, also des Horizontes bei weitem für größer halten, als die des Punktes senkrecht über unserem Haupte. Smith *) hat genauere Betrachtungen über die Gesichtstäuschungen angestellt, denen der Mensch beim Anblick des Himmels ausgesetzt ist, und hat darnach die Krümmung der scheinbaren Himmelskugel näher zu bestimmen gesucht. Er suchte zuerst durch Schätzung mit dem Augenmaße einen Punkt am Himmel, welcher gleich weit vom Scheitelpunkte und vom Horizonte entfernt sein, also 45° über dem Horizonte liegen sollte; eine genauere Untersuchung zeigte darauf, daß dieser Punkt nur 23° über dem Horizonte lag. Smith fand ferner, daß die Sonne, wenn sie 30° über dem Horizonte sich befände, schon dem Scheitelpunkte näher als dem Horizonte zu stehen scheine, obschon gerade das Umgekehrte stattfinden sollte; ein Stern, welcher 45° über dem Horizonte sei, also zwischen Scheitel und Horizont gerade mitten inne stehe, scheine dem Scheitel dreimal so nahe als dem Horizonte zu stehen. Hieraus ist klar, daß man sich stets sehr irren wird, wenn man die Größe eines Winkels nach dem scheinbaren Bogen am Himmel zwischen seinen Schenkeln messen will. In folgender Tabelle giebt Smith das Verhältniß der scheinbaren Bogen oder Entfernungen vom Horizonte bis zum Zenith an.

Höhen	Scheinbare Entfernungen
0°	100
15 —	68
30 —	50
45 —	40
60 —	34
75 —	31
90 —	30

Hiermit hängt dann auch zusammen, daß uns alle Gegenstände und Entfernungen in der Nähe des Horizontes größer als in der Nähe des Scheitels erscheinen müssen, z. B. Mond und Sonne beim Aufgehen und Niedergehen. Die Breite des Regenbogens scheint in der Nähe des Horizontes größer als gegen den Scheitel zu.

Je nach den verschiedenen Orten, die ein Beobachter auf der Erde einnimmt, erscheinen ihm die Kreise, welche die Sterne bei der Umdrehung des Himmels (eigentlich der Erde) beschreiben, in verschiedener Lage gegen den Kreis des Horizontes, so wie auch die Tagbogen der Sterne, oder diejenigen Bogen, welche die Sterne über dem Horizonte beschreiben, verschieden sind. Die scheinbare Drehung des Himmels geschieht bekanntlich um die Pole, und in der beide Pole mit einander verbindenden geraden Linie liegen sämmtliche Mittelpunkte der Kreise, welche die Fixsterne zu beschreiben scheinen. Je nachdem die Pole mehr oder weniger hoch

*) Vollständiger Lehrbegriff der Optik, bearb. von Kästner, S. 56. 416.

über und tief unter dem Horizonte liegen, erhält nun die Himmelskugel in Bezug auf den Beobachter verschiedene Namen. Befindet sich der Beobachter unter dem Pole, so beschreiben alle Sterne mit dem Horizonte Parallelkreise, welches die parallele Himmelskugel giebt. Für den Beobachter unter dem Aequator sind dagegen die Tagbogen bei allen Sternen Halbkreise, stehen senkrecht auf dem Horizonte und die Himmelskugel heißt senkrecht. Befindet man sich endlich in nördlichen oder südlichen Breiten (zwischen dem Aequator und einem Pole), so sind die Tagbogen bei einigen Sternen größer, bei anderen kleiner, andere gehen gar nicht unter den Horizont, andere kommen gar nicht über denselben, auch machen sie gegen den Horizont schiefe Winkel, und man hat so die schiefe Himmelskugel. Befindet sich z. B. der Beobachter auf der nördlichen Halbkugel der Erde, so beschreiben die Sterne zunächst um den Nordpol ganze Kreise; weiter nach dem Aequator beschreiben sie doch noch Tagbogen von mehr als 180°, die Tagbogen der Sterne im Aequator sind gerade 180°, die Tagbogen der südlichen Himmelshalbkugel aber werden gegen den Nordpol zu immer kleiner von 180° an abnehmend und die zunächst an dem Südpol gelegenen Sterne endlich gehen niemals auf.

Das Himmelsgewölbe als solches, in dem oben angegebenen Sinne, kann uns natürlich nicht farbig erscheinen, und wir müßten die Sterne hell auf dunklem Grunde erblicken, wenn nicht die Erde von einer Luftschicht umgeben wäre. Die blaue Farbe des Himmels, ihr verändertes Aussehen bei verschiedenen Witterungszuständen, die Morgen- und Abendröthe gehören zu den optischen Erscheinungen unserer Atmosphäre (s. d. Art.). Von dem auf die Atmosphäre fallenden Sonnenlichte kommt ein Theil an die Erdoberfläche, während ein anderer Theil in der Atmosphäre aufgehalten wird. Dieser Theil wird nun theilweise absorbirt, theils aber auch, und zwar in größerer Menge, durch Reflexion nach allen Richtungen zerstreut. Ueber diese Lichtzerstreuung in der Atmosphäre und über die Intensität des durch die Atmosphäre reflectirten Sonnenlichtes hat in neuerer Zeit Clausius *) genauere Untersuchungen angestellt. Bei einem und demselben unvollkommenen durchsichtigen Mittel läßt sich annehmen, daß die Menge des absorbirten Lichtes zu der des zerstreuten immer in gleichem Verhältnisse stehe, so daß also stets derselbe aliquote Theil des ganzen aufgefangenen Lichts durch Reflexion zerstreut werde. Wird dieser Bruch für die Luft mit ϱ bezeichnet, und kennt man den Verlust M, den eine Lichtmenge bei ihrem Durchgange durch die Luft erleidet, so ist der reflectirte Theil $= \varrho M$, und der absorbirte $= (1 - \varrho) M$. Nun muß man die Intensität des nach verschiedenen Richtungen reflectirten Lichtes als eine Function des Einfallswinkels betrachten, oder bequemer als Function desjenigen Winkels φ, welchen der reflectirte Strahl mit der Fortsetzung des directen macht. Zur Bestimmung der Function $F(\varphi)$ wird angenommen, daß die Reflexion nicht von der Luft selbst bewirkt werde, sondern von den in ihr schwebenden Dunstbläschen, welche bei klarem Wetter, wo sie ihrer Auflösung nahe sind, nur außerordentlich dünn sein können (s. weiter unten). Ein Theil von dem auf ein solches Bläschen fallenden Lichte wird gerade hindurchgehen, der andere aber, welchen das Bläschen reflectirt, wird dabei nach allen möglichen Richtungen hin zerstreut wer-

*) Crelle's Journal für reine und angewandte Mathematik. Bd. XXXIV. u. XXXVI. Poggend. Ann. Bd. LXXII. S. 294.

den, und zwar so, daß die Intensitäten nach verschiedenen Richtungen verschieden sind. Für die Function $F(\varphi)$ entwickelt Clausius in diesem Falle die Formel $C + A \sin^4 \frac{1}{2}(k - \varphi)$, wo $C = 0{,}4760$, $A = 6{,}4366$ und $k = 130^0$ ist.

Die Gestalt der Atmosphäre betrachtet Clausius als eine Kugelschicht, die sich aber im Verhältniß zu ihrer Dicke so langsam krümmt, daß es in ihren lichtzerstreuenden Wirkungen für alle Fälle, wo die Sonne 10^0 oder noch höher über dem Horizont steht, keinen erheblichen Unterschied hervorbringt, wenn man sie als eine ebene, nach allen Seiten hin unendlich ausgedehnte Schicht ansieht. Und dann macht es auch keinen Unterschied, ob man die Verminderung ihrer Dichtigkeit in der Höhe berücksichtigt oder nicht. Man kann sich also die Atmosphäre so zusammengedrückt denken, daß sie überall gleich dicht ist.

Wenn nun durch irgend ein sich gleichförmiges unvollkommen durchsichtiges Mittel ein homogener Lichtstrahl sich verbreitet, so hat man für die allmälige Schwächung desselben folgendes Gesetz: die nach Durchlaufung eines gewissen Weges x noch übrige Intensität verhält sich zur ursprünglichen wie $e^{-\delta . x} : 1$, wo e die Basis der natürlichen Logarithmen und δ eine von der Natur des Mittels abhängige Constante ist. Nach diesem Gesetze wird auch die Intensität der Sonnenstrahlen, während sie die Atmosphäre durchdringen, geschwächt. Ist h die reducirte Höhe der Atmosphäre und der veränderliche Zenithabstand der Sonne γ, so hat man für die Länge des zu durchlaufenden Weges $h \sec \gamma$, und die Sonnenstrahlen, deren ursprüngliche Intensität $= 1$ ist, haben bei ihrer Ankunft an der Erdoberfläche nur noch die Intensität $e^{-\delta . h \sec \gamma}$ oder e^{-ca}, wenn man $\delta h = a$ und $\sec \gamma = c$ setzt. Nach Versuchen von Lambert ist $e^{-a} = 0{,}59$ und nach Versuchen von Bougier $= 0{,}8123$. Nach vielen späteren Versuchen, welche zeigen, daß die Wahrheit zwischen diesen beiden Werthen liegt, und wegen der verschiedenen Witterungsverhältnisse nicht allgemein bestimmbar ist, läßt sich $e^{-a} = 0{,}75$ setzen, woraus $a = 0{,}2876819$ folgt.

Denkt man sich zunächst die Erde ohne Atmosphäre, so muß die Lichtmenge, welche die Sonne in ihren verschiedenen Stellungen auf irgend ein Flächenstück des Erdbodens werfen würde, dem Cosinus ihres Zenithabstandes proportional sein, und wenn man die Lichtmenge, welche die Sonne uns zusendet, wenn sie im Zenith steht, als Einheit annimmt, so ist die entsprechende Menge für jeden anderen Stand der Sonne ausgedrückt durch $\cos \gamma$ oder $\frac{1}{c}$. Da aber dieses Licht in dem oben angegebenen Verhältnisse geschwächt wird, so beträgt die wirklich unten ankommende Menge nur noch $\frac{e^{-ca}}{c}$, und der Verlust, den das Licht in der Atmosphäre erlitten hat, ist also $M = \frac{1 - e^{-ca}}{c}$, und daraus folgt für die Menge des durch Reflexion in der Atmosphäre zerstreuten Lichtes $\varrho M = \varrho \frac{1 - e^{-ca}}{c}$.

Von dieser Lichtmenge, durch welche uns der Himmel hell erscheint, geht aber ein Theil abwärts, ein anderer aufwärts, und beide Antheile werden, ehe sie die untere oder obere Grenze der Atmosphäre erreichen, erst bedeutend geschwächt, und es bleibt nur ein Theil durch zweite Reflexion abermals in der Atmosphäre

zerstreut. Diesem ergeht es eben so, und man erhält noch Lichtmengen, die zum dritten, vierten 2c. Mal reflectirt sind. Clausius ermittelt nun, wie viel von dem einmal reflectirten als solches zur Erdoberfläche oder in den Weltraum gelangt, und wie viel dagegen unterwegs wieder verloren geht, also theilweise zum zweiten Mal zerstreut wird. Der Verlust des nach oben und unten gehenden Lichtes zusammengenommen aber läßt sich annähernd durch die Gleichung $\frac{\varrho N}{\varrho M} = 0{,}325 + 0{,}675\, r - r.a \frac{e^{-ca}}{M}$ ausdrücken, wo die Constante r von der besonderen Gestalt der Function F (φ) abhängt. Bestimmt man diese Constante mit Hülfe der Hypothese von den Dunstbläschen, so geht die Gleichung über in $\frac{\varrho N}{\varrho M} = 0{,}5222 - 0{,}08405 \frac{e^{-ca}}{M}$.

Hierauf wird die Menge des Lichtes ermittelt, welches wir vom Himmel im Ganzen erhalten, und dann die Helle des Himmels an seinen verschiedenen Punkten. Bei der Lösung der Aufgabe, wie viel Licht ein Stück der Erdoberfläche empfange, wenn es der Beleuchtung des ganzen Himmelsgewölbes ausgesetzt ist, handelt es sich zunächst um die Lichtmenge, welche als einmal reflectirt zur Erde gelangt. Hiernach ist die Bestimmung desjenigen Lichtes erforderlich, welches erst nach mehrfacher Reflexion zur Erde kommt. Da durch die zuletzt aufgestellte Gleichung der Verlust ϱ N des einmal reflectirten Lichtes bekannt ist, so ergiebt sich zugleich die Menge des zum zweiten Male reflectirten ϱ^2 N. Es ist nun zu untersuchen, wie viel von diesem Lichte zur Erde gelange, und wie viel zum dritten Male zerstreut werde. Von diesem letzteren gilt dann dasselbe wie von ϱ^2 N 2c. Die dabei nöthigen Entwickelungen führen auf folgende Constante, die der Kürze wegen mit v bezeichnet werde:

$$v = \frac{1 - e^{-a}}{2a} + \frac{e^{-a}}{2} - \frac{a}{2}\int_a^{\infty} \frac{e^{-x}}{x}\, dx,$$

zu deren Berechnung blos die Kenntniß von a nöthig ist. Nimmt man für a den schon oben angegebenen Mittelwerth = 0,2876819; so ist v = 0,67474. Die sämmtlich zur Erde gelangenden Lichtmengen bilden nun eine geometrische Reihe, deren Summe $= \frac{1}{2}\varrho^2 N \frac{v}{1 - \varrho\,(1 - v)}$, welche die ganze Lichtmenge ausdrückt, die nach mehrfacher Reflexion zur Erde gelangt. Hieraus folgt für $\varrho = 1$, $^1/_2$ N, d. h. wenn keine Absorption stattfände, so würde von dem Lichte, welches zum zweiten Male reflectirt ist, wie viele Reflexionen in ihm auch vorgehen mögen, endlich die Hälfte zur Erde und die Hälfte in den Weltraum gelangen.

Weiter ist noch zu berücksichtigen, daß die Erde selbst als erleuchtete Fläche einen Theil des empfangenen Lichtes wieder aussendet, und von diesem wird ihr wiederum ein Theil durch Reflexion in der Atmosphäre zurückgeschickt. Auch hier gelangt man zu einer geometrischen Reihe, deren Summe die ganze Lichtmenge ausdrückt, welche die Erde ihrer eigenen Ausstrahlung verdankt. Dieselbe ist $L \frac{Aw}{1 - Aw}$, worin L die Lichtmenge bezeichnet, welche die Erde von der Sonne

theils direct, theils nach Reflexionen empfängt, und L A den Theil, den sie davon wieder aussendet:

$$w \text{ ist } = \frac{2}{5}\,\varrho\,(1-u)\,\frac{v}{1-\varrho\,(1-v)}$$

und hierin u eine Constante (ähnlich v), die sich bestimmen läßt durch den Ausdruck:

$$\frac{e^{-a}}{a^2} - \frac{e^{-a}}{a} + \int_a^{\infty} \frac{e^{-x}}{x}\,dx.$$

Für a = 0,2876819 ist u = 0,61178.

In Hinsicht auf die Bestimmung der Helle, mit welcher uns der Himmel an seinen verschiedenen Punkten erscheint, denke man sich die Atmosphäre in unendlich viele horizontale Schichten getheilt, und betrachte zuerst die Wirkungen einer solchen Elementarschicht. Die Lichtmenge, welche irgend ein Stück derselben aussendet, sei für eine Flächeneinheit der Schicht mit λ bezeichnet. Ist der Winkel, den die Richtung nach dem Auge des Beobachters mit der Normale auf der Schicht bildet, $= \beta$, und der Radius der Sonnenscheibe, der etwa 16′ beträgt, $= \sigma$, so ist die Helle, mit der die Schicht erscheint, für den Fall, daß λ gleichförmig zerstreut ist, $= \frac{\sigma^2}{4} \sec\beta\,\lambda$, und gemäß der Function F (φ): $= \frac{\sigma^4}{4} F(\varphi) \sec\beta\,\lambda$, wobei die Helle der Sonne, wie sie einem Beobachter außerhalb der Atmosphäre erscheinen würde, als Einheit gesetzt ist. Da nun aber die Strahlen, ehe sie zum Beobachter gelangen, noch geschwächt werden, so muß man in dieser Beziehung die Entfernung berücksichtigen, welche auch noch in sofern von Einfluß ist, als λ nicht eine Constante, sondern von dieser Höhe der Schicht abhängt. Die Helle, mit der eine Schicht in der Höhe y an der Erdoberfläche erscheint, läßt sich als eine Function von y vollständig bestimmen. Die Helle eines ganzen Systems von solchen übereinander gelegenen Elementarschichten ist gewiß gleich der Summe der einzelnen Helligkeiten, so daß man die Helle, mit der uns der Himmel in irgend einer Richtung erscheint, findet, wenn man den für die Elementarschicht gewonnenen Ausdruck nach y integrirt. Eine einzelne Rechnung reicht aber auch hier nicht aus, sondern man gelangt wieder zu einer unendlichen Reihe von Werthen, indem zunächst das zum zweiten Mal zerstreute Licht noch besonders berücksichtigt werden muß. Hat man die durch dasselbe bewirkte Helle bestimmt, so bleibt wieder das zum dritten Male zerstreute Licht zu betrachten u. s. f. Dazu kommt außerdem noch dasjenige Licht, welches von der Erde ausgehend in der Atmosphäre zerstreut wird, und in welchem ebenfalls noch jene wiederholten Reflexionen vorgehen. Alle Helligkeiten, die man auf solche Weise einzeln bestimmen kann, geben erst zusammen die ganze Helle, mit der uns der Himmel erscheint. Clausius findet nun für die Helle, welche der Himmel dem nur einmal reflectirten Lichte verdankt, die Formel $\frac{\sigma^2}{4} F(\varphi) \sec\beta\,\frac{e^{-a\sec\beta} - e^{-a\sec\gamma}}{\sec\gamma - \sec\beta}$, welche für den besonderen Fall, daß $\beta = \gamma$, ersetzt werden muß durch: $\frac{\sigma^2}{4} F(\varphi)\,a \sec\beta\,e^{-a\sec\beta}$.

Diejenige Helle, welche durch alle gleichförmig zerstreuten Lichtmengen zusammen bewirkt wird, ergiebt sich als die Summe einer geometrischen Reihe, nämlich:

$\frac{\sigma^2}{4} \cdot \frac{1 - e^{-a \sec \beta}}{a} \cdot S \frac{1}{1 - \varrho v}$, wenn man zur Abkürzung gesetzt hat: $S = \varrho^2$

$N + L A \cdot \frac{4}{5} \varrho (1 - u) \frac{1}{1 - A w}$.

Durch Addition dieser beiden Ausdrücke erhält man die ganze Helle, mit der uns der Himmel überhaupt erscheint, und zwar für jeden Stand der Sonne bis 80° Zenithabstand, und für jeden beliebigen Punkt des Himmels.

Was die Färbung des Himmels anbetrifft, so begegnet man nicht selten der Meinung, daß dieselbe ihre Ursache in der Eigenschaft der Lufttheilchen habe, die blauen Strahlen vorzugsweise zu reflectiren, die rothen dagegen mehr hindurchzulassen. Indessen ist nicht zu verkennen, daß die atmosphärische Feuchtigkeit einen ganz vorzüglichen Antheil an den Farben des Himmels hat. Forbes *) suchte wahrscheinlich zu machen, daß der Wasserdampf in einem gewissen Stadium der Verdichtung die Erscheinungen der Morgen- und Abendröthe bedinge, und Henrici **), erinnernd an die Rothfärbung des Himmels durch fein vertheilte, in der Atmosphäre schwebende feste Theilchen, wie Rauch und dergleichen, sieht die Bedingung dieser Erscheinungen in sehr feinen unsichtbaren Wassertröpfchen, welche aus den Nebel- oder Dunstbläschen entstehen sollen, indem deren Hüllen durch Verdampfung immer dünner würden, so daß sie endlich dem Druck von Innen nicht mehr widerstehen könnten und zerplatzten. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß die genannten Erscheinungen durch die Dunstbläschen selbst bewirkt werden, eine Ansicht, die auch schon öfter ausgesprochen worden ist. Clausius ***) hat nun dargethan, daß wenn die Reflexion der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre an durchsichtigen Massen geschehe, dann nothwendig neben der Reflexion auch Brechung stattfinden müsse, und daß diese Brechung unter allen Umständen Erscheinungen bedinge, die mit den gewöhnlichen Beobachtungen im Widerspruche stehen, mit Ausnahme des einzigen Falles, wenn die reflectirenden Flächen dünne Platten mit parallelen Grenzflächen sind. Dies führe fast nothwendig zu der Annahme von feinen Dampfbläschen, die selbst bei klarem Wetter noch in der Luft schweben und die Reflexion verursachen.

Jedes Dampfbläschen ist nun ein in Kugelform gekrümmtes Wasserhäutchen, das, wenn man es im Verhältniß zu seinem Umfange als sehr dünn betrachtet, auf einen Lichtstrahl, der es durchdringt, zweimal dieselbe Wirkung übt, wie eine ebene Wasserplatte von derselben Dicke mit parallelen Grenzflächen, so daß also hier die bekannte Theorie der Lamellen ihre Anwendung findet (s. d. Art. Farbenringe Newton's). Clausius ****) macht nun hiervon Anwendung auf die Erklärung der Farben des Himmels.

Auf eine ebene Platte von der Dicke δ falle unter dem Winkel i ein Bündel homogenes Licht mit der Wellenlänge λ, dessen Intensität mit a^2 und demnach die Elongation der Schwingungen mit a bezeichnet werde. Die dem Winkel i

*) Transact. of the Roy. Edinb. soc. Vol. XIV. Poggend. Ann. Bd. XLVII. S. 593. Poggend. Ann. Ergänzungsbl. Bd. I. S. 49.
**) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 511.
***) Poggend. Ann. Bd. LXXVI. S. 161.
****) Poggend. Ann. Bd. LXXVI. S. 188.

entsprechende Stärke der Reflexion sei durch den Factor r bestimmt, indem sich die Elongationen des einfallenden und des einfach reflectirten Strahles unter einander wie 1 : r verhalten. Es sind dann die Intensitäten b^2 und c^2 des ganzen von der Platte reflectirten und durchgelassenen Lichtes mit Berücksichtigung der vielfachen in derselben vorgehenden Reflexionen ausgedrückt durch die Formeln:

$$b^2 = a^2 \cdot \frac{4\, r^2 \sin^2\left(2\,\pi\,\frac{\delta \cos i'}{\lambda'}\right)}{(1 - r^2)^2 + 4\, r^2 \sin^2\left(2\,\pi\,\frac{\delta \cos i'}{\lambda'}\right)},$$

$$c^2 = a^2 \cdot \frac{(1 - r^2)^2}{(1 - r^2)^2 + 4\, r^2 \sin^2\left(2\,\pi\,\frac{\delta \cos i'}{\lambda'}\right)},$$

wo i' der zu i gehörige Brechungswinkel und λ' die Wellenlänge des betrachteten Lichtes im Innern der Platte bedeutet.

Man erkennt, daß beide Intensitäten, falls $\delta \cos i'$ bestimmt ist, von λ' abhängen. Wenn nun das ankommende Licht, anstatt homogen zu sein, aus verschiedenen Farben besteht, so wirkt die Platte auf dieselben nicht in gleichem Verhältnisse, und läßt daher sowohl das reflectirte als auch das durchgehende Licht gefärbt erscheinen, und zwar ergiebt sich aus den Formeln, indem $b^2 + c^2 = a^2$ ist, daß beide Farben complementär sein müssen.

Die Intensitäten der einzelnen reflectirten Farben können, wenn die entsprechende Intensität im ankommenden w e i ß e n Lichte jedesmal mit a^2 bezeichnet wird, zwischen den Grenzen 0 und $a^2 \cdot \frac{4\, r^2}{(1 + r^2)^2}$ verschieden sein. Ist nun zunächst die Dicke δ der Platte so gering, daß sie gerade $^1/_4$ der kleinsten vorkommenden Wellenlänge, nämlich derjenigen des äußersten Violett, beträgt, und denkt man sich dann noch das Licht senkrecht auffallend, wodurch $\cos i' = 1$ wird, so geht für die violetten Strahlen $\sin^2\left(2\,\pi\,\frac{\delta \cos i'}{\lambda'}\right)$ in $\sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1$ über, und die Reflexion derselben ist somit die größtmögliche. Die anderen Strahlen werden dagegen um so weniger reflectirt, je größer ihre Wellenlängen sind, und die Mischung dieser Lichtmengen giebt ein weißliches Blau. Fiele aber auf dieselbe Platte das Licht schräge ein, so daß $\cos i' < 1$ wäre, so würde auch das Violett nicht mehr im Maximum der Reflexion sein, während dagegen der zweite Umstand ungeändert bliebe, daß nämlich die übrigen Farben noch weniger reflectirt würden, als jenes, und zwar in der Reihenfolge, wie ihre Wellenlängen zunehmen. Das gesammte Licht würde also schwächer, aber ebenfalls blau sein. Und diese letztere Erscheinung wird auch fortwährend stattfinden, wenn die Dicke der Platte noch geringer ist, als sie oben angenommen wurde. Das reflectirte Licht muß dann immer dunkler blau erscheinen, bis die Platte zu dünn ist, um überhaupt noch Licht zu reflectiren. Nimmt aber umgekehrt die Dicke der Platte von dem oben gesetzten Werthe an allmälig zu, so wird ebenfalls das Violett schwächer reflectirt werden, aber dafür eine andere Farbe ins Maximum der Reflexion eintreten, und so die Färbung des ganzen Lichtes geändert werden. Man erhält für

dieses bei wachsender Dicke der Platte dieselbe Reihe von Farben, wie sie sich in den Newton'schen Farbenringen zeigt, nämlich: Blau, Weiß, gelblich Weiß, Orange, Roth, Violett, Blau u. s. f.

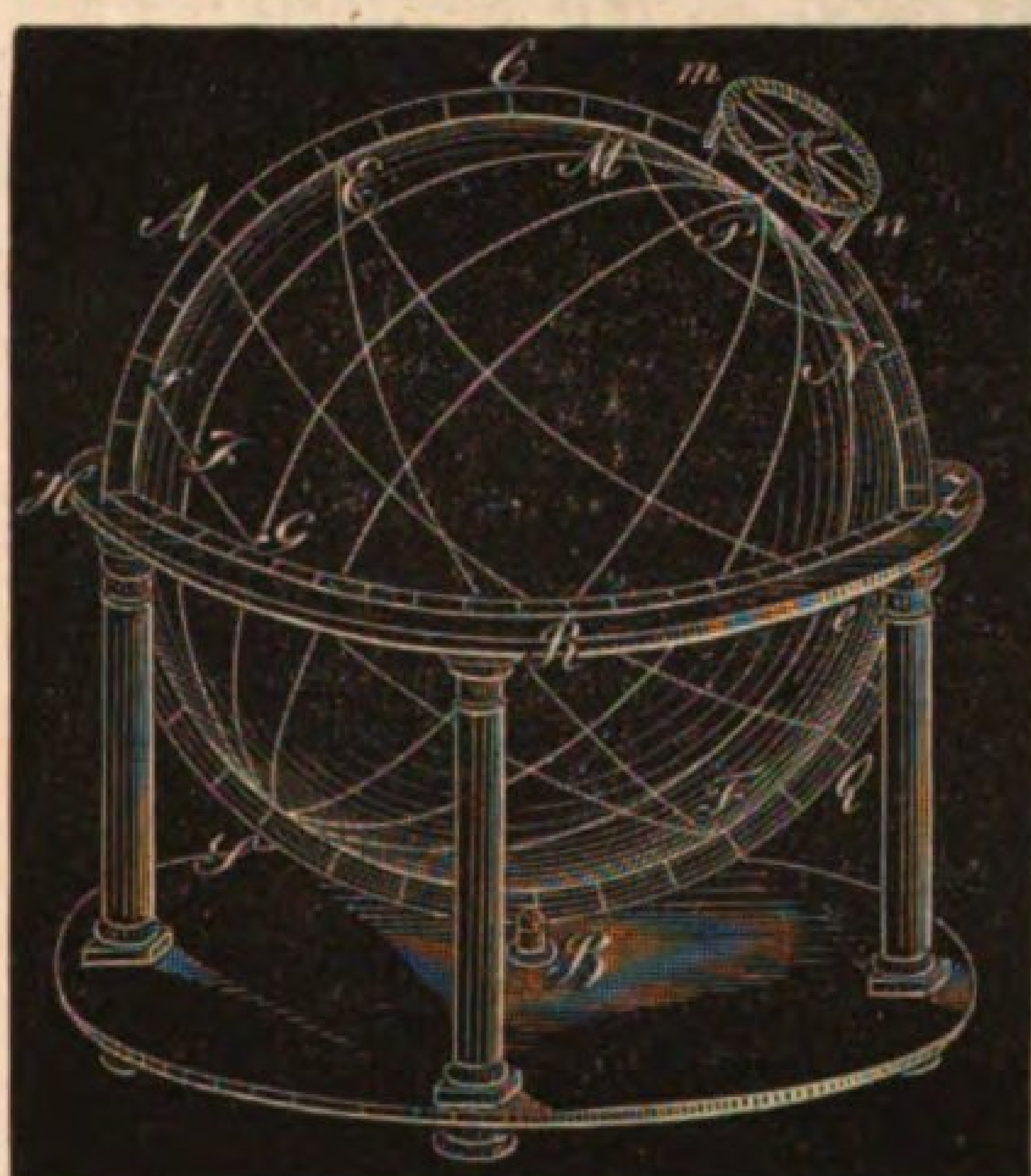
In der Atmosphäre vertreten nun Dampfbläschen die Stelle der Platten. Diejenigen Bläschen, welche noch bei klarem Wetter in der Luft schweben, können jedenfalls nur sehr dünn sein, und wenn man annimmt, daß ihre Dicke höchstens $1/_4$ der Wellenlänge des Violett beträgt, so folgt daraus nothwendig die blaue Farbe des reflectirten Himmelslichtes, welche um so dunkler sein muß, je klarer die Luft, d. h. je feiner die Bläschen sind. Wird aber die Luft feuchter, und besitzen die Bläschen nicht mehr die vorher bezeichnete Feinheit, so wird der Himmel doch nicht, wie es wohl den Anschein haben könnte, statt des Blau auch die übrigen Farben der Reihe nach zeigen. Denn während bei feuchter Luft die schon vorhandenen Bläschen an Dicke zunehmen, bilden sich zugleich neue feine Bläschen, so daß man nie eine bestimmte Dicke für alle, sondern höchstens einen Grenzwerth angeben kann, welcher die kleineren Werthe nicht ausschließt. Ueberschreitet dieser Grenzwerth die vorher angenommene Größe um etwas, so wird neben vielem Blau auch etwas Weiß reflectirt werden. Bei weiterem Wachsen der Dicke wird man erhalten: Blau, Weiß, gelblich Weiß, darauf: Blau, Weiß, Orange u. s. f. Es werden also immer neue Farben zu den früheren hinzukommen, ohne daß diese deshalb fortfallen, und die Mischung aller kann nur dem ursprünglichen Blau ein mehr oder weniger reines Weiß hinzufügen, wodurch jenes zuerst ein milchiges Ansehen gewinnt, und allmälig ganz in Weiß übergehen kann. Hiermit übereinstimmend erscheint nun der Himmel am Horizont meist etwas weißlich, weil das Auge, welches dorthin gerichtet ist, nahe an der Erdoberfläche entlang sehen muß, wo doch, wenigstens an einzelnen feuchten Stellen, wahrscheinlich dickere Bläschen vorkommen, als in der Höhe. Dieses Weiß nimmt, wenn sich die Luft trübt, an Ausdehnung zu, und das ganze Ansehen des Himmels wird matter.

Da das durchgelassene Licht dem reflectirten Lichte complementär ist, so folgt daraus schon, daß die Farbe, so weit sie überhaupt aus dem Weiß hervortritt, orange sein muß. In Bezug auf die Menge des beigemischten weißen Lichtes tritt aber ein wesentlicher Unterschied ein. In der ersten der Seite 801 aufgestellten Formeln ist der Minimumwerth = 0, und es können also schon durch Reflexion an einer Platte einzelne Farben ganz ausgelöscht, und andere sehr geschwächt werden, so daß das ganze Licht stark gefärbt erscheint. In der zweiten Formel dagegen ist zwar die Differenz zwischen Maximum und Minimum gerade so groß, wie in der ersten, aber das Minimum ist nicht null. Für eine Platte aus Wasser und bei senkrechtem Auffallen des Lichtes ist $r^2 = 0{,}02037$ und daraus ergeben sich für c^2 als äußerste Werthe die Größen $0{,}922\ a^2$ und a^2, während sie für b sind: 0 und $0{,}078\ a^2$. Es ist also in dem durchgelassenen Lichte der Theil $0{,}922\ a^2$ vollkommen weiß, wie das ankommende, und nur der übrige Theil, welcher höchstens $0{,}078\ a^2$ beträgt, ist gefärbt, so daß die Färbung des ganzen Lichtes nur sehr schwach sein kann. Bei schrägem Einfall nimmt allerdings die Färbung zu, jedoch sehr langsam. So erhält man für 45° als Minimum und Maximum von c^2 noch die Werthe $0{,}894\ a^2$ und a^2, und erst bei sehr schrägem Einfall kann eine starke Färbung eintreten.

Bei einem Dampfbläschen kommen nun alle möglichen Einfallswinkel vor,

aber zu den größten und kleinsten gehören verhältnißmäßig nur geringe Lichtmengen, so daß es besonders auf die mittleren Winkel ankommt, und da diese sich darin den kleinen anschließen, daß sie nur eine sehr schwache Färbung hervorbringen, so wird auch das ganze von einem Bläschen hindurchgelassene Licht nur wenig gefärbt sein. Daher erscheint uns die Sonne, wenn sie hoch am Himmel steht, und ihre Strahlen also die Atmosphäre auf kurzem Wege durchlaufen, weiß, zumal da wir kein absolut weißes Licht zur Vergleichung daneben haben. Wenn sie dagegen zum Horizont herabgesunken ist, und nun die Strahlen auf ihrem weiten Wege sehr viele Dampfbläschen zu durchdringen haben, so gewinnt dadurch die Orangefarbe ein bedeutendes Uebergewicht. Daß endlich beim Sonnenuntergange nicht blos die Sonnenscheibe, sondern auch ein großer Theil des Horizontes und selbst höher schwebende Wolken orangefarbig erscheinen, erklärt sich ebenfalls leicht, ohne anzunehmen, daß diese Farben erst durch Reflexion erzeugt würden. Wie nämlich jeder Gegenstand, der bei weißer Beleuchtung weiß ist, bei orangener Beleuchtung orange erscheinen muß, so ist es auch bei den Wolken und in gewissem Grade beim Horizont, der am Tage weißlich aussieht.

Himmelskugel, künstliche, Globus (lat., Kugel). Denken wir uns den Beobachter des Himmels rings von einer Kugel umgeben, und nehmen wir an, daß derselbe ungehindert nach jedem Sterne des Weltalls hinschauen könnte, so ist klar, daß die vom Auge des Beobachters nach den verschiedenen Sternen reichenden geraden Linien die Oberfläche jener Kugel sämmtlich durchschneiden und diejenigen Punkte angeben werden, an welchen die Sterne dem Beobachter als an der Oberfläche der Kugel befestigt erscheinen müssen. Eine Kugel nun, auf welcher so alle Sterne, die wir kennen, verzeichnet sind, und auf der überdies diejenigen eingebildeten Linien angebracht sind, nach denen wir die Lage der Gestirne zu bestimmen pflegen, heißt eine künstliche Himmelskugel. Wie das scheinbare Himmelsgewölbe auf der inneren Fläche einer (abgeplatteten) Kugel die Sterne unseren Blicken erscheinen läßt, so stellt die künstliche Himmelskugel die Sterne auf der oberen Fläche einer Kugel dar.



Nebenstehende Figur stellt eine künstliche Himmelskugel in ihrem Gestelle vor. AQ ist ein größter Kreis der Kugel und bezeichnet den Aequator des Himmels. Senkrecht über dem Mittelpunkte dieses Kreises befinden sich die beiden Pole P und S, durch welche größte Kreise, die Meridiane, welche sämmtlich senkrecht auf dem Aequator stehen, gelegt sind. Parallel mit dem Aequator sind rund um die Kugel kleinere Kreise, die Tagekreise der Sterne gelegt. Gewöhnlich sind die Meridiane und Tagekreise so geordnet, daß von den Meridianen auf jeden 10. Grad des Aequators einer fällt, und eben so von den Tagekreisen einer auf jeden 10. Grad jedes Meridians. Hierdurch erhält man ein Netz auf der Kugel, in welches die Sterne nach ihrer gegenseitigen Lage eingetragen sind. Der Aequator

ist in seine angegebenen Grade getheilt und von diesen sind auf den einen Meridian $23^1/_2{}^0$ vom Pole an aufgetragen, wodurch der eine Pol der Ekliptik gegeben ist, dem gerade gegenüber der andere Pol der Ekliptik steht. Der größte Kreis EF schneidet den Aequator unter einem Winkel von $23^1/_2{}^0$ und ist die Ekliptik. Durch die Pole der Ekliptik werden dem Aequator parallele Kreise gelegt: die Polarkreise (MN), und eben so gehen in einer Entfernung von $23^1/_2{}^0$ von dem Aequator mit diesem parallele Kreise: die Wendekreise (Ee und Ff). Was das Gestell des Globus betrifft, so sind seine Haupttheile folgende. PASQ ist ein metallener Ring, dessen innerer Umfang so groß (oder vielmehr etwas größer) als der größte Kreis der Kugel ist, und der in Grade getheilt ist; derselbe heißt der Meridian. Bei P und S hat die Kugel vorstehende Zapfen und der Meridian passende Lager für diese Zapfen, so daß die Kugel um dieselben innerhalb des Meridians um die Axe PS gedreht werden kann. Auf der Eintheilung des Meridians steht bei A und Q 0, bei P und S dagegen 90°. HRZ ist ein horizontaler Ring, welcher auf 4 Säulen ruht und bei H und Z diametral gegenüberstehende Einschnitte hat, um den Meridian aufzunehmen. Seine innere Weite ist der des Meridians gleich. Dieser Ring heißt der Horizont. Man sieht leicht ein, daß je nachdem man den Pol mehr oder weniger hoch über diesen Horizont stellt, man der künstlichen Himmelskugel diejenige Stellung geben kann, welche für jeden Ort des Beobachters auf der Erde die Himmelskugel, die er sieht, einnimmt, und daß man folglich durch Beobachtung und Umwendung der künstlichen Himmelskugel um die Axe PS den Lauf der Gestirne sich vergegenwärtigen kann. Man sieht, welche Sterne bei dieser Erhebung des Nordpols über den Horizont, zu den immer über dem Horizont befindlichen gehören, welche Sterne große, welche kleine Tagbogen beschreiben, wie groß diese Tagbogen sind, und welche Sterne niemals gesehen worden. (Vergl. den vorigen Art.) Ist P der Nordpol des Himmels, so ist bei Z der Nordpunkt des Horizontes, bei H dessen Südpunkt, und man kann nun auch den Ort des Aufgangs und des Niedergangs für jeden Stern an jedem Beobachtungsorte bestimmen, wenn man die Polhöhe für diesen Ort kennt. Um auch die Zeit bestimmen zu können, während welcher ein Stern über dem Horizonte verweilt, und zu welcher Stunde ein Stern eine gewisse Stellung einnimmt, ist bei mn eine Scheibe angebracht, welche in 24 Stunden getheilt ist. Ein Zeiger ist an dem durch die Scheibe gehenden Drehungszapfen der Scheibe befestigt, und bewegt sich also mit der Kugel um die Axe PS. Nur mit bedeutender Reibung kann die Hand den Zeiger um den Zapfen bewegen, und ihm so eine beliebige Stellung geben. Ein Stern culminirt, wenn er sich unter dem Meridian PASQ befindet. Will man nun z. B. wissen, welche Stellung ein Stern 1 Stunde (Sternzeit) nach seiner Culmination einnehmen werde, so stellt man ihn erst unter den Meridian, stellt den Zeiger auf 12 Uhr, und dreht nun die ganze Kugel, bis der Zeiger auf 1 Uhr zeigt. Ein beweglicher Gradbogen 90° lang, kann an jedem Punkte des metallenen Meridians angeschraubt werden; dieser wird (nach Aufstellung der Kugel nach der Polhöhe) mit seinem Ende im höchsten Punkte der Kugel (dem Zenith des Beobachters) befestigt und an den Stern in der eben bezeichneten Stellung gelegt, wie sie 1 Stunde nach der Culmination ist; dann kann man auf dem Gradbogen den Abstand des Sternes vom Zenith absehen, und sein Azimuth angeben, indem man auf dem Horizonte nachsieht, wie weit vom Südpunkte der Horizont vom Gradbogen getroffen wird. Auch

den Gang der Gestirne bei paralleler, senkrechter und schiefer Himmelskugel (s. d. vor. Art.), kann man sich durch gehörige Aufstellung des Poles über dem Horizont versinnlichen.

Mit Hülfe des Globus kann man noch eine Menge astronomischer Fragen mit Leichtigkeit lösen, so wie man sich die Erscheinungen des Himmels verdeutlichen kann. Um zu finden, wie lange ein Stern über dem Horizonte verweilt, bringt man ihn unter den Meridian, stellt den Zeiger auf 12 Uhr und bewegt nun den ganzen Globus, bis der Stern unter dem Horizonte verschwindet; der Zeiger giebt die Hälfte der Zeit, während welcher der Stern überhaupt über dem Horizonte sich befindet. Immer ist hierbei vorausgesetzt, daß der Pol die Polhöhe des Ortes, für welchen man beobachtet, über dem Aequator habe. Um ferner zu erfahren, wie viel Zeit zwischen den Culminationen zweier Sterne vergehe, bringe man den einen der Sterne unter den Meridian, stelle den Zeiger auf 12 Uhr, und bewege nun den Globus, bis der andere Stern unter den Meridian kommt, der Zeiger giebt nun die Zahl der Stunden an, welche von der Culmination des ersten Sternes bis zu der des zweiten vergeht. Um Tageslänge, Aufgangs- und Untergangspunkt der Sonne (nach den Himmelsgegenden bestimmt) zu finden, muß man die Länge der Sonne in der Ekliptik an diesem Tage kennen; man beobachtet dann mittelst des Globus, wo dieser Punkt der Ekliptik über dem Horizont steht, wie lange er über dem Horizonte verweilt, und wo, d. h. in welcher Himmelsgegend, er unter den Horizont geht. Um für eine gewisse Stunde der Nacht den Globus so zu stellen, daß die Sterne desselben diejenige Stellung einnehmen, welche sie in der Wirklichkeit haben, muß man fürs erste den Globus wie immer auf die Polhöhe des Ortes der Beobachtung stellen, dann, weil unsere Uhren nach Sonnenzeit gehen, den Ort der Sonne für diesen Tag in der Ekliptik aufsuchen. Diesen Punkt, an welchem die Sonne an dem Tage sich gerade befindet, bringt man unter den Meridian, und stellt den Zeiger auf 12; die so gefundene Stellung der Kugel giebt dann die Stellung der Gestirne am Horizonte um den Mittag des Beobachtungstages an. Man muß nun den Globus so lange nach Westen fortdrehen, bis der Zeiger auf der verlangten Stunde der Nacht steht, dann giebt derselbe genau die Stellung der Gestirne zu dieser Stunde an. Die Himmelskugel dient nur, mit ihrer Hülfe am Himmel selbst sich zu orientiren.

Unter dem Namen Globus begreift man auch die künstliche Erdkugel, welche mit denselben Linien wie der Himmelsglobus versehen ist, aber statt der Sterne die Zeichnung von Erde, Meer, Flüssen, Bergen ꝛc. hat. Nur die Ekliptik ist überflüssig auf der Erdkugel. Nicht allein dienen diese Globen zur Versinnlichung der Verhältnisse zwischen Land und Meer, der Gegenfüßler ꝛc., sondern man kann auch manche interessante Frage leicht und anschaulich mittelst derselben lösen. Brandes führt mehrere Beispiele an *).

Um den Abstand zweier Orte von einander zu messen und die Richtung, nach welcher hin man von einem zum anderen reisen muß, zu bestimmen, stellt man die Kugel auf die Polhöhe des einen Ortes und bringt diesen unter den festen Meridian in den höchsten Punkt der Kugel. Man befestigt hier den beweglichen Gradbogen, legt ihn so, daß er an dem anderen Orte anliegt, und sieht nun

---

*) Gehler's Phys. Wörterbuch. N. A. Bd. V. S. 266.

erstlich, wie viele Grade und Theile von Graden zwischen beiden Orten enthalten sind, woraus sich die Entfernung in Meilen leicht ergiebt; zweitens bemerkt man den Punkt des Horizontes, wo der so gelegte Gradbogen einschneidet, und wenn dieser z. B. genau Süd=Süd=Ost träfe, so wäre dieses die Richtung, nach welcher man vom ersten Orte zum zweiten reisen muß. — Um zu erfahren, wie viel Uhr es in Calcutta ist, wenn es in London z. B. 3 Uhr ist, bringt man Calcutta unter den Meridian und stellt den Stundenzeiger auf 3 Uhr; man dreht dann die Kugel so fort, daß nach und nach die westlicheren Orte unter den Meridian kommen, und zwar so lange, bis London im Meridian ist, dann giebt der Uhrzeiger an, wie viel Uhr in Calcutta mit 3 Uhr in London einerlei ist; denn da der Stundenzeiger um so viele Stunden fortgeht, als dem Längen=Unterschiede gemäß ist, so hat Calcutta nun eine so viel spätere Zeit. — Will man auf der Erdkugel die Antipoden eines Ortes suchen, so muß man, während der eine Ort unter dem festen Meridian ist, einen anderen Ort nehmen, der gleichfalls unter demselben an der anderen Seite sich befindet, und zwar so tief unter dem Horizonte, als jener über demselben. Will man die Nebenbewohner des Ortes finden, so stellt man am besten die Kugel so, daß der Aequator mit dem Horizonte zusammen fällt, bringt den ersten Ort unter den festen Meridian, und sucht auf der anderen Seite des Meridians den Ort auf, welcher eben so hoch über dem Horizonte steht. Die Gegenbewohner endlich findet man, wenn man bei eben der Stellung der Kugel den Punkt sucht, welcher auf einerlei Seite zugleich mit unter dem festen Meridiane steht, und sich eben so tief unter dem Horizonte befindet, als jener Ort über demselben ist.

Höhe eines Gestirnes heißt der zwischen dem Sterne und dem Horizonte liegende Theil eines Kreises, welcher durch das Gestirn vertical auf den Horizont, also durch das Zenith des Beobachters, gezogen wird, oder — mit anderen Worten — der Winkel, dessen Scheitelpunkt im Auge des Beobachters liegt und dessen einer Schenkel horizontal geht, während der andere vom Auge des Beobachters nach dem Gestirne sich erstreckt. Hieraus folgt, daß die Höhe eines Gestirnes und der Abstand desselben von dem Zenith sich zu 90° ergänzen.

Correspondirende Höhen sind die gleich großen Höhen des Gestirnes vor und nach der Culmination desselben. (Vergl. Art. Culmination Bd. I. S. 1015.)

Zur Ermittelung der besonders wichtigen Sonnenhöhe bedient man sich vorzugsweise des Sextanten, über dessen Einrichtung und Gebrauch ein besonderer Artikel handelt, auf welchen wir deshalb verweisen. Der Sextant ist namentlich im Gebrauche bei den Seeleuten; auf dem festen Lande kann man die Sonnenhöhe auch bestimmen aus dem Schatten, worüber in dem Art. Schatten das Nähere zu finden ist. Was die Höhenbestimmung der Sternschnuppen betrifft, enthält außer dem Art. Parallaxe der Art. Feuerkugel Bd. III. S. 148 bis 150. H. E.

Höhe eines Punktes über einer Ebene heißt die Länge des von diesem Punkte auf diese Ebene gefällten Perpendikels. Höhe eines Punktes über einer Kugelfläche heißt der Theil der geraden, von dem Punkte nach dem Mittelpunkte der Kugel gehenden Linie, welcher außerhalb der Kugel liegt. Denken wir uns die Erde als eine Kugel (oder als ein Sphäroid), welches ganz voll-

kommen (ohne alle Erhöhungen) sein würde, wenn die Oberfläche der Erde ein flüssiger Körper, also Wasser — Meer — wäre, so erscheinen alle Erhöhungen auf der Erdoberfläche als Erhebungen über die Meeresoberfläche, und wenn daher schlechthin angegeben wird, ein Berg ꝛc. sei z. B. 5000 Fuß hoch, so meint man damit, daß die gerade, von der Spitze des Berges nach dem Mittelpunkte der Erde gehende Linie in einer Entfernung von 5000 F. unterhalb der Spitze des Berges von der Fläche des Meeres durchschnitten werden würde, wenn wir uns diese bis dahin fortgesetzt denken. Eine derartige Angabe heißt deswegen auch Höhe oder Erhebung über die Meeresoberfläche oder über das Niveau des Meeres. Wird gesagt, ein Ort liege z. B. 1000 F. höher als ein anderer, oder 1000 F. über einem anderen, so heißt dies, die Differenz der Höhen beider Orte über der Meeresfläche sei = 1000 F., oder — mit anderen Worten — denken wir uns mit der Entfernung des niedrigeren Ortes von dem Mittelpunkte der Erde als Radius eine Kugel beschrieben, so schneidet die Oberfläche dieser Kugel, die von dem höher gelegenen Orte nach dem Mittelpunkte der Erde gedachte gerade Linie in einer Entfernung = 1000 F. von diesem Orte.

Wenn nach der Höhe einer Wolke gefragt wird, so versteht man darunter gewöhnlich die Erhebung derselben über der Erdoberfläche, und da man diese in der geringen Erstreckung, welche in solchen Fällen in Frage kommt, als eben ansehen kann, so hat man mithin das Perpendikel von der Wolke auf diese Ebene zu bestimmen. (Vergl. Art. Wolke.)

Die Mittel, deren man sich zu Messung der Höhen der Orte der Erde bedient, sind: barometrische Höhenmessungen, thermometrische Höhenmessungen, das Nivelliren und trigonometrische Messungen, worüber besondere Artikel handeln. H. E.

Höhenmessung, barometrische. Nachdem Torricelli zu der Einsicht gekommen war, daß die Luft das Wasser in der Wasserpumpe und eben so das Quecksilber in einer luftleeren Röhre empordrücke *), mithin die Luft eine schwere Materie sei, lag der Gedanke nahe, daß der Druck der Luft mit der Erhebung über die Erdoberfläche oder in größerer Entfernung von dem Mittelpunkte der Erde geringer werden müsse. Es scheint des Cartes oder Pascal der Erste gewesen zu sein, welcher diesen Gedanken klar erfaßte, der letztere wenigstens hat zuerst einen dahin zielenden Versuch veranlaßt **). Auf dem Puy de Dome, welcher ungefähr 3000 F. hoch ist, stand das Barometer etwa 3 Zoll niedriger als zu Clermont in der Nähe dieses Berges; unten 26″ $3^1/_2$‴, oben 23″ 2‴.

Nach diesem Resultate hielt Pascal das Barometer für ein Mittel zu erfahren, ob zwei Oerter in einerlei Horizontalebene, d. i. in gleichen Entfernungen vom Mittelpunkte der Erde lägen, oder welcher davon der entfernteste sei,

---

*) Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 465.

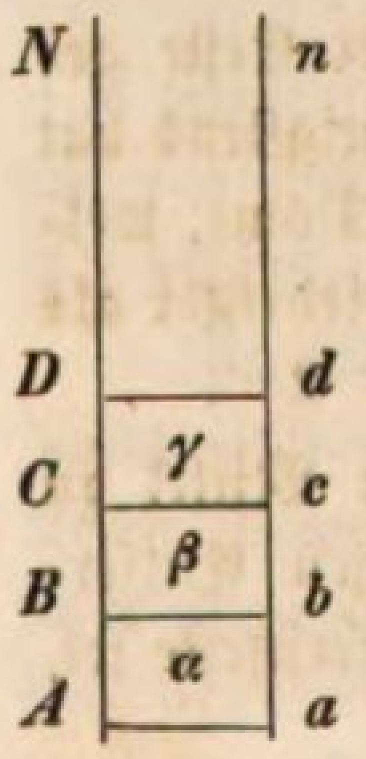
**) Traitéz de l'Equilibre des Liqueurs et de la Pesanteur de la Masse de l'Air par Mr. Pascal, Paris. 1653 u. 1698. In der Vorrede heißt es: Parce qu'il estoit impossible de la (la grande expérience de l'Equilibre des Liqueurs) faire en cette ville de Paris, qu'il n'y a que très peu de lieux en France propres pour cet effet, et que la ville de Clermont en Auvergne est un de plus commodes, je priais Monsieur Perrier Conseiller en la Cour des Aydes d'Auvergne, mon beau-père, de prendre la peine de l'y faire. Vergl. auch De Luc, Untersuchungen über die Atmosphäre. 1776. Bd. I. S. 223.

sie möchten auch so weit, als sie wollten, von einander liegen, oder gar auf der Erdkugel einander gegenüber stehen, welches man auf keinem anderen Wege ausmitteln könnte *). Vergl. Art. Höhe eines Punktes.

Auf diesem Satze, daß das Barometer (vergl. d. Art. Bd. I. S. 654 ff.) sinkt, je höher wir uns in der Atmosphäre erheben, beruht die barometrische Höhenmessung. Wissen wir nämlich den Stand des Barometers unmittelbar über der Meeresfläche und eben so den Stand desselben in einem höher gelegenen Orte der Erde, so können wir daraus die senkrechte Höhe des zweiten Ortes über der Meeresfläche berechnen. Dasselbe gilt von je zwei anderen Orten; indessen nimmt man, um bei allen Messungen von einem bestimmten Punkte auszugehen, durchgehend die Meeresoberfläche als Anfangspunkt der Messung an.

Die Berechnung der Höhen aus dem Barometerstande wäre sehr leicht, wenn bei der jedesmaligen Erhebung um eine gewisse Anzahl Fuße das Barometer um eine gewisse Anzahl Zolle oder Linien sänke, so also etwa, daß bei jeden 1000 F., um die man sich in der Atmosphäre erhöbe, das Barometer um 1 Zoll niedriger stände. Dies würde sicher der Fall sein, wenn die Atmosphäre durchgängig gleiche Dichtigkeit besäße; so aber lagern immer, in Folge der Elasticität der Luft, dünnere und leichtere Luftschichten über einander, und daher muß das Barometer, wenn man sich weiter und weiter in der Atmosphäre mit demselben erhebt, nach Zurücklegung der ersten 1000 F., wie wir angenommen haben, etwa um 1 Zoll, nach den nächsten 1000 F. schon um weniger als 1 Zoll sinken, eben so nach den hierauf folgenden 1000 F. um noch weniger u. s. f. **).

Daß die Dichtigkeit des Wassers von unten nach oben abnimmt, beruht auf demselben Grunde, wie bei der Luft; bei dieser aber ist das Gesetz der Abnahme ein anderes. Beim Wasser erfolgt die Abnahme in einer arithmetischen Reihe, d. h. bei gleich großen Erhebungen nimmt der Druck auch immer um dieselbe Größe ab; bei der Luft aber, wie bei jeder Gasart, erfolgt die Abnahme bei gleich großen Erhebungen nach einer geometrischen Reihe, wenn in allen Höhen dieselbe Wärme und dieselbe Mischung vorausgesetzt wird.



Stellt NAan eine Luftsäule vor, welche den eben gestellten Bedingungen Genüge leistet und bis an das Ende der Atmosphäre reicht, und sind die durch Bb, Cc, Dd begrenzten Luftschichten α, β, γ von gleicher Höhe, aber so niedrig, daß man in einer jeden die Dichtigkeit von unten nach oben als gleich betrachten kann; so verhalten sich die Dichtigkeiten der Schichten, welche wir mit α, β, γ... bezeichnen wollen, wie die Unterschiede der am unteren und oberen Ende der Schichten beobachteten Barometerstände, welche a, b, c, d... bezeichnen mögen, also:

$$\alpha : \beta = \mathrm{a} - \mathrm{b} : \mathrm{b} - \mathrm{c},$$
eben so: $$\beta : \gamma = \mathrm{b} - \mathrm{c} : \mathrm{c} - \mathrm{d}. \quad . \; . \; (1)$$

Es ist nämlich das Gewicht der Luftschicht α gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von derselben Grundfläche Aa und der Höhe des Barometerstandes a

---

*) A. a. O. (1698) S. 189.

**) Vergl. Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 479 u. 480.

weniger dem Gewichte einer eben solchen Quecksilbersäule, aber von der Höhe des Barometerstandes b. In gleicher Weise bestimmt sich das Gewicht der Schicht β, γ . . . Da diese Quecksilbersäulen gleichen Querschnitt haben, so verhalten sich aber ihre Gewichte wie die Höhen, d. h. wie die Unterschiede der bezeichneten Barometerstände.

Nach dem Mariotte'schen Gesetze (vergl. Art. Gase) verhalten sich die Dichtigkeiten auch wie die drückenden Kräfte, d. h. hier wie die Barometerstände an der oberen Grenze der Schichten, also:

$$\left.\begin{array}{r} a : \beta = b : c \\ \text{eben so: } \beta : \gamma = c : d. \end{array}\right\} \quad . \; . \; . \; (2)$$

Aus (1) und (2) folgt:

$$\left.\begin{array}{r} a - b : b - c = b : c \\ \text{eben so: } b - c : c - d = c : d. \end{array}\right\} \quad . \; . \; . \; (3)$$

Aus (3) ergiebt sich:

$$\left.\begin{array}{r} a : b = b : c \\ \text{eben so: } b : c = c : d. \end{array}\right\} \quad . \; . \; . \; (4)$$

Unter den vorher festgesetzten Einschränkungen gleicher Wärme und gleicher Mischung findet man nun, wenn am Fuße einer Höhe der Barometerstand B und oben b ist,

$$x = \frac{1}{\log m} (\log B - \log b) = M (\log B - \log b),$$

sofern man sich die Höhe in x gleich hohe Schichten getheilt denkt, und das Barometer am Ende der ersten Schicht $\frac{1}{m}$ B, am Ende der zweiten $\frac{1}{m^2}$ B ꝛc. steht.

Man erhält nämlich nach dem Vorhergehenden die geometrische Reihe:

$$B, \frac{B}{m}, \frac{B}{m^2}, \frac{B}{m^3} \ldots\ldots \frac{B}{m^x};$$

$$\text{aber } \frac{B}{m^x} \text{ ist auch } = b, \text{ also ist } b \, . \, m^x = B \text{ und}$$

$$x = \frac{1}{\log m} (\log B - \log b) \; {}^{*}).$$

Wenn man an dem unteren und oberen Ende einer auf andere Weise gemessenen und somit bekannten Höhe x Barometerbeobachtungen anstellt, so ist in der eben gefundenen Grundformel für barometrische Höhenmessung nur noch $\frac{1}{\log m}$ oder M unbekannt und mithin bestimmbar. Setzt man den auf solche Weise bestimmten Werth in die Formel, so wird man umgekehrt mit ihrer Hülfe und mit den beobachteten Barometerständen die Höhe x berechnen können.

Versuche, wie die eben bezeichneten, ergaben verschiedene, zum Theil sehr von einander abweichende Werthe für M und daraus folgt, daß die oben aufge-

---

*) Emsmann, physikalische Aufgaben. Leipzig 1852. S. 67. Aufg. 15.

stellten Einschränkungen gleicher Wärme und gleicher Mischung in der Regel nicht anzutreffen sind.

Unter denjenigen Physikern, welche sich damit beschäftigten, namentlich den Einfluß der ungleichen Temperatur in Rechnung zu bringen, verdient De Luc einen der ersten Plätze *). Seine Bemühungen gingen darauf hin, den mittleren Grad der Wärme einer jeden zu messenden Luftsäule und den Einfluß desselben und seiner Veränderungen auf die relativen Barometerhöhen zu erfahren **).

De Luc fand, daß M genau 10000 betrage, wenn man x in Toisen zu 6 F. des alten französischen Maßes ausdrückt, sobald die mittlere Temperatur + $16^3/_4$ Grad an einem Quecksilberthermometer betrug, das zwischen den festen Punkten in 80 gleiche Theile getheilt war ***). Ferner ermittelte er ****), daß man für jeden Grad unter dieser Temperatur den 215. Theil der gefundenen Höhe vom Ganzen subtrahiren, für jeden höheren Grad aber eben so viel addiren müsse. Es ist also De Luc's Formel:

$$x = 10000 \left(1 \pm \frac{t}{215}\right) (\log B - \log b) \text{ Toisen},$$

wo t anzeigt, wie viel Grade die wirkliche Temperatur über oder unter der mittleren Normal-Temperatur $16^3/_4{}^0$ gewesen ist. Für die mittlere Temperatur von $16^3/_4{}^0$ selbst erhält man mithin:

$$x = 10000 (\log B - \log b) \text{ Toisen}.$$

Die Bestimmung von M oder $\frac{1}{\log m}$ kann übrigens auch auf theoretischem Wege erreicht werden.

Ein Cubikmeter Luft wiegt †) nach Regnault bei $0^m,76$ Barometerstand und bei 0^0 Temperatur 1,293187 Kilogr., also bei einem anderen Barometerstande B

$$\frac{1,293187 . B}{0,76} \text{ Kilogr.} = c . B.$$

Denken wir uns nun eine Luftsäule von 1 Quadratmeter Querschnitt und x Meter Höhe, die also x Cubikmeter Luft enthält, in gleich hohe Schichten getheilt, so bilden die Gewichte dieser Schichten, wie wir oben gesehen haben, eine geometrische Reihe, deren erstes Glied (die unterste Schicht) c . B und deren letztes c . b ist. Das Gewicht der ganzen Säule ist gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 1 Quadratmeter Querschnitt und (B — b) Meter Höhe.

Das Gewicht von 1 Cubikmeter Quecksilber bei 0^0 hat Regnault (a. a. O.) zu 13595,93 Kilogr. = q bestimmt; folglich ist das Gewicht L der Luftsäule:

$$L = (B - b) q.$$

---

*) Recherches sur les modifications de l'atmosphere à Geneve. 1772. Deutsch übersetzt von Gehler: Untersuchungen über die Atmosphäre. Leipzig 1776. 2. Thl.

**) A. a. O. §. 531. Bd. II. S. 74 der d. Uebers.

***) A. a. O. Bd. II. S. 125. §. 588.

****) A. a. O. Bd. II. S. 138. §. 607 u. 611.

†) Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 470.

Bei einer geometrischen Reihe findet man die Anzahl x aller Glieder aus dem ersten c. B und letzten Gliede c. b und der Summe L aller Glieder:

$$x = \frac{\log c.B - \log.c.b}{\log (L - c.b) - \log (L - c.B)} + 1$$

oder, mit Vernachlässigung von 1 gegen x, und da im Dividenden c verschwindet,

$$x = \frac{\log B - \log b}{\log \frac{L - c.b}{L - c.B}};$$

folglich ist $\log \frac{L - c.b}{L - c.B} = m$ in der obigen Formel.

Dieser Werth von m ist auch

$$m = \log \left[1 + \frac{c (B - b)}{L - c.B}\right] = \log [1 + \frac{c}{L} (B - b)],$$

da c. B gegen L sehr klein ist.

Setzen wir für L den vorher gefundenen Werth (B — b) q, so wird endlich

$$m = \log \left(1 + \frac{c}{q}\right)$$

und $x = \frac{1}{\log \left(1 + \frac{c}{q}\right)} (\log B - \log b).$

Da $\frac{c}{q} = \frac{1,293187}{0,76 . 13595,93} = 0,00012511$ ist, so erhält man:

$$x = \frac{\log B - \log b}{\log 1,00012511} = 18403^m (\log B - \log b).$$

Auch bei dieser Ableitung ist gleiche Wärme und gleiche Mischung vorausgesetzt; es versteht sich also von selbst, daß auch hier die Correction wegen der verschiedenen Temperatur anzubringen ist. Diese Correction beruht auf der Erfahrung, daß die Ausdehnung einer trockenen Luftsäule für jeden Grad nach Celsius 0,00365 *) oder $\frac{1}{274}$ beträgt. Nun ist zwar die Erwärmung der Luft in verticaler Richtung nicht gleichförmig, indessen kann man annehmen, daß die Temperatur von unten nach oben in einer arithmetischen Reihe abnimmt, wenn man sich in einer arithmetischen Reihe erhebt; folglich erhält man statt der uncorrigirten Höhe H hierdurch die corrigirte

$$= H + \frac{T + t}{2} . \frac{1}{274} H = H \left(1 + \frac{T + t}{548}\right),$$

wo T und t die untere und obere Temperatur in Graden nach Celsius bedeuten.

Wegen der Correction des Barometerstandes enthält das Nähere der Art. Barometer Bd. I. S. 701 ff.; hier bemerken wir nur, daß ein

*) Art. Ausdehnung. Bd. I. S. 620.

Barometerstand B bei der Temperatur $\pm$ T° C gleich B $\left(1 \mp \frac{1}{5550} T\right) =$ B (1 $\mp$ 0,00018018 T) wird, sobald die Reduction auf 0° vorgenommen wird, wie es in der Regel geschieht.

Eine fernere Correction wird wegen der Schwere erforderlich. Die Schwerkraft nämlich nimmt ab sowohl in verticaler Richtung von unten nach oben, als auch in horizontaler Richtung von den Polen nach dem Aequator hin. (Vergl. Art. Schwere und Art. Atmosphäre Bd. I. S. 525.) Es übt mithin dieselbe Quecksilbermasse an verschiedenen Orten einen verschiedenen Druck aus, und zwar wird da, wo die Schwerkraft größer ist, eine Quecksilbersäule von geringerer Höhe dasselbe leisten, als eine höhere an Orten, wo dieselbe geringer ist.

Ist g die Größe der Beschleunigung (der Weg der ersten Secunde beim freien Falle) am Niveau des Meeres und g_1 in einer Höhe H über demselben, so ist

$$g = g_1 \left(1 + \frac{2H}{r}\right) \text{*)}.$$

Im Allgemeinen wird man annehmen können, daß in der ganzen Luftsäule von dem unteren bis zu dem oberen Beobachtungsorte die Schwerkraft mit einer Stärke gleich dem arithmetischen Mittel der Schwerkräfte an den beiden Stationen wirke.

Nun ist $\frac{g + g_1}{2}$ nahe $= g : \left(1 - \frac{H}{r}\right)$, wir haben also die berechnete Höhe in dem Verhältnisse von $1 : \left(1 + \frac{H}{r}\right)$ zu vermehren, also $H\left(1 + \frac{H}{r}\right)$ zu berechnen, da sich die Luftsäule in demselben Verhältnisse verlängert, in welchem sie leichter wird.

Bei der geringen Erhebung im Verhältniß zu dem Erdhalbmesser r, welche bei barometrischen Höhenmessungen erreicht wird, kann man diese Berichtigung in der Regel vernachlässigen; denn erst bei Erhebungen von über 19000 Fuß beträgt diese Correction $\frac{1}{1000}$ der ganzen Höhe **).

Einflußreicher ist die Correction wegen der geographischen Breite. Bezeichnen wir die Schwerkraft unter 45° Breite mit g, so ist dieselbe unter der geographischen Breite ψ in gleicher Entfernung von dem Mittelpunkte der Erde:

$$g_1 = g\,(1 - 0{,}002837 \,.\, \cos 2\,\psi).$$

Es muß mithin die berechnete Höhe in demselben Verhältnisse vermindert oder vermehrt werden, in welchem g_1 größer oder kleiner ist als g, weil bei geringerer Schwerkraft eine höhere Luftsäule derselben Differenz in den beiden Barometerständen unten und oben entspricht. Die corrigirte Höhe wird also $= H \,.\, \frac{g}{g_1}$ oder nahe

$$= H\,(1 + 0{,}002837 \,.\, \cos 2\,\psi).$$

---

*) Emsmann, phys. Aufg. S. 45 u. 138. Aufg. 22. Siehe auch Art. Fall. Bd. III. S. 7.

**) Ueber den Werth von r vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 892.

Endlich ist noch eine Correction wegen der in der Luft enthaltenen Wasserdünste, also wegen der Feuchtigkeit, anzubringen und zwar 1) mit Rücksicht auf die Aenderung des Luftdruckes durch den Zutritt der Dünste; 2) mit Rücksicht auf die Aenderung der Ausdehnungsgröße trockener Luft durch die Wärme, welche durch Beimengung der Dünste eintritt. Heißt die Spannkraft der Dünste in der unteren Station e, in der oberen e'; so verhält sich der Druck von Seiten der Dünste zum Drucke von Seiten der Luft, in der unteren Station nahe wie $\frac{10}{16}$ e : B, in der oberen wie $\frac{10}{16}$ e' : b, falls die Dünste wie die Luft nach oben zu an Dichte abnehmen; allein da die Dünste viermal schneller als die Luft abnehmen, so hat man nur die Verhältnisse nahe wie $\frac{1}{6}$ e : B und $\frac{1}{6}$ e' : b. Daher ist der Druck der trockenen Luft in der unteren Station $B - \frac{e}{6}$, in der oberen $b - \frac{e'}{6}$. Das Volumen trockener Luft ändert sich durch Beimengung von Dünsten in der unteren Station in dem Verhältnisse wie $1 + \frac{e}{B - e} : 1$, in der oberen wie $1 + \frac{e'}{b - e'} : 1$. Setzt man nun für e oder e' die mittlere Spannkraft der Dünste $\frac{e + e'}{2}$ und für B die mittlere Barometerhöhe $\frac{B + b}{2}$, so hat man eine Aenderung des Luftvolumens und daher auch des spec. Gewichtes in dem Verhältnisse $1 + \frac{e + e'}{B + b - (e + e')} : 1$ *).

Vereinigen wir alle diese Correctionen in einer Formel, so erhalten wir:

$$H = 18403^{m} (1 + 0{,}002837 \,.\, \cos 2\,\psi) \left(1 + \frac{T + t}{548}\right) \left(1 + \frac{H}{r}\right).$$
$$\left(1 + \frac{e + e'}{B + b - (e + e')}\right). \left[\log\left(B - \frac{e}{6}\right) - \log\left(b - \frac{e'}{6}\right)\right].$$

Wird keine große Genauigkeit verlangt, so reicht die Formel aus:

$$H = 18403^{m} \left(1 + \frac{T + t}{548}\right) (\log B - \log b)$$

welches Resultat auch in der vorhergehenden Formel für H in $1 + \frac{H}{r}$ einzusetzen ist. B und b sind in beiden Formeln die auf 0° C. reducirten Barometerstände.

Nach Laplace **) ist:

---

*) Baumgartner, Naturlehre, 4. Aufl. Wien 1832. S. 700. Vergl. Poggend. Ann. Bd. XIV. S. 437.

**) Mécanique céleste de M. Laplace. T. IV. liv. X. p. 289. Seconde partie. Vergl. auch: Mémoires sur la formule barométrique de la Mécanique céleste et les dispositions de

$$H = 18393^m (1 + 0{,}002837 \cos 2\psi \left(1 + \frac{2(T + t)}{1000}\right) (\log B - \log b);$$

nach Gauß:

$$H = 18382^m (1 + 0{,}0026 \cos 2\psi \left(1 + \frac{T + t}{498{,}75}\right) (\log B - \log b)$$

wo m Meter bedeutet, ψ die Polhöhe, T und t die Temperaturen an beiden Stationen nach Cels., B und b die auf 0^0 reducirten Barometerstände.

Um des Gebrauchs von Logarithmen und anderen Tafeln überhoben zu sein, schlägt Babinet *) vor statt der Laplace'schen Formel folgende anzuwenden:

$$H = 16000^m \frac{B - b}{B + b}\left[1 + \frac{2(T + t)}{1000}\right].$$

Sie ist indessen nur für Höhen unter 1000 Meter gültig; für größere Höhen, und wenn man sich mit keiner Approximation begnügen kann, hat man eine Zwischenstation zu Hülfe zu nehmen.

Ueber das Geschichtliche der Versuche, Höhenmessungen mit dem Barometer anzustellen, handelt mit großer Ausführlichkeit: Murhard, Geschichte der Physik. Göttingen 1799. Bd. I. zweite Hälfte. Außerdem verweisen wir noch über das Höhenmessen mit dem Barometer auf:

Kästner's Abhandlung von Höhenmessungen durch das Barometer, in seinen Anmerkungen über die Markscheidekunst, Göttingen 1775. S. 215 ff.

Mémoire sur la mésure des hauteurs à l'aide du Baromètre par M. D'Aubuisson, im Journ. de Physique 1810.

Littrow, Höhenmessen durch das Barometer. Wien 1823.

G. Suckow, die barometrische Hypsometrie, Darmstadt 1843.

Grunert's Lehrbuch der Math. und Phys. Bd. II. S. 2. Kap. 16.

Um in einzelnen Fällen der Beobachtung die Rechnung leichter zu machen, sind mehrfach Tabellen berechnet worden **). Am häufigsten bedient man sich der Oltmanns'schen Tafeln ***), die wir daher auch hier folgen lassen.

---

l'atmosphère qui en modifient les propriétés cet. par L. Ramond, auch in Mémoires de l'Acad. de Paris. T. VI.

*) Poggend. Ann. Bd. XXX. S. 224.

**) Tables barométriques pour faciliter le calcul des nivellements et des mésures des hauteurs par le baromètre, par B. de Lindenau. Gotha. 1809. Vergl. Gilb. Ann. Bd. XXXIX. S. 470. — Tables barométriques portatives cet., par Biot. Paris. 1811. — Tabellen für barometrische Höhenmessungen von Garthe. Gießen 1817. — Horner, tables hypsométriques pour le baromètre. Zuric. 1828. Suppan, die Hypsometrie. Regensburg 1834.

***) Tables hypsométriques portatives par J. Oltmanns. Paris. 1811. Vergl. Gilb. Ann. Bd. XXXVIII. S. 278.

I.

Barometerstand	Höhe	Barometerstand	Höhe	Barometerstand	Höhe	Barometerstand	Höhe
mm	m	mm	m	mm	m	mm	m
370	418,5	410	1236,0	450	1977,3	490	2655,4
371	440,0	411	1255,4	451	1994,9	491	2671,6
372	461,5	412	1274,8	452	2012,6	492	2687,9
373	482,9	413	1294,1	453	2030,2	493	2704,1
374	504,2	414	1313,3	454	2047,8	494	2720,2
375	525,4	415	1332,5	455	2065,3	495	2736,3
376	546,6	416	1351,7	456	2082,8	496	2752,3
377	567,8	417	1370,8	457	2100,2	497	2768,3
378	588,9	418	1389,9	458	2117,6	498	2784,4
379	609,9	419	1408,9	459	2135,0	499	2800,4
380	630,9	420	1427,9	460	2152,3	500	2816,3
381	651,8	421	1446,8	461	2169,6	501	2832,2
382	672,7	422	1465,7	462	2186,9	502	2848,1
383	693,5	423	1484,6	463	2204,1	503	2864,0
384	714,3	424	1503,4	464	2221,3	504	2879,8
385	735,0	425	1522,2	465	2238,4	505	2895,6
386	755,6	426	1540,8	466	2255,5	506	2911,3
387	776,2	427	1559,5	467	2272,6	507	2927,0
388	796,8	428	1578,2	468	2289,6	508	2942,7
389	817,3	429	1596,8	469	2306,6	509	2958,4
390	837,8	430	1615,3	470	2323,6	510	2974,0
391	858,2	431	1633,8	471	2340,5	511	2989,6
392	878,5	432	1652,2	472	2357,4	512	3005,2
393	898,8	433	1670,6	473	2374,2	513	3020,7
394	919,0	434	1689,0	474	2391,1	514	3036,2
395	939,2	435	1707,3	475	2407,9	515	3051,7
396	959,3	436	1725,6	476	2424,6	516	3067,2
397	979,4	437	1743,8	477	2441,3	517	3082,6
398	999,5	438	1762,1	478	2458,0	518	3097,9
399	1019,5	439	1780,3	479	2474,6	519	3113,3
400	1039,4	440	1798,4	480	2491,3	520	3128,6
401	1059,3	441	1816,5	481	2507,9	521	3143,9
402	1079,1	442	1834,5	482	2524,3	522	3159,2
403	1098,9	443	1852,5	483	2540,8	523	3174,4
404	1118,6	444	1870,4	484	2557,3	524	3189,7
405	1138,3	445	1888,3	485	2573,7	525	3204,9
406	1157,9	446	1906,2	486	2590,2	526	3220,0
407	1177,5	447	1924,0	487	2606,6	527	3235,1
408	1197,1	448	1941,8	488	2622,9	528	3250,2
409	1216,6	449	1959,6	489	2639,2	529	3265,3

Barometerstand	Höhe	Barometerstand	Höhe	Barometerstand	Höhe	Barometerstand	Höhe
mm	m	mm	m	mm	m	mm	m
530	3280,3	572	3887,6	614	4451,9	656	4978,7
531	3295,3	573	3901,5	615	4464,8	657	4990,9
532	3310,3	574	3915,4	616	4477,7	658	5003,0
533	3325,3	575	3929,3	617	4490,7	659	5015,1
534	3340,2	576	3943,1	618	4503,6	660	5027,2
535	3355,1	577	3956,9	619	4516,4	661	5039,2
536	3370,0	578	3970,7	620	4529,3	662	5051,2
537	3384,8	579	3984,5	621	4542,1	663	5063,3
538	3399,6	580	3998,2	622	4554,9	664	5075,3
539	3414,4	581	4011,9	623	4567,7	665	5087,2
540	3429,2	582	4025,6	624	4580,5	666	5099,2
541	3443,9	583	4039,3	625	4593,2	667	5111,2
542	3458,6	584	4052,9	626	4606,0	668	5123,1
543	3473,3	585	4066,6	627	4618,7	669	5135,0
544	3487,9	586	4080,2	628	4631,4	670	5146,9
545	3502,5	587	4093,8	629	4644,0	671	5158,8
546	3517,2	588	4107,3	630	4656,7	672	5170,6
547	3531,8	589	4120,8	631	4669,3	673	5182,5
548	3546,3	590	4134,3	632	4682,0	674	5194,3
549	3560,8	591	4147,8	633	4694,5	675	5206,1
550	3575,3	592	4161,3	634	4707,1	676	5217,9
551	3589,8	593	4174,7	635	4719,7	677	5229,7
552	3604,2	594	4188,1	636	4732,2	678	5241,4
553	3618,6	595	4201,5	637	4744,7	679	5253,2
554	3633,0	596	4214,9	638	4757,2	680	5264,9
555	3647,4	597	4228,2	639	4769,7	681	5276,6
556	3661,7	598	4241,6	640	4782,1	682	5288,3
557	3676,0	599	4254,9	641	4794,6	683	5300,0
558	3690,3	600	4268,2	642	4807,0	684	5311,6
559	3704,6	601	4281,4	643	4819,4	685	5323,2
560	3718,8	602	4294,7	644	4831,7	686	5334,8
561	3733,0	603	4307,9	645	4844,1	687	5346,4
562	3747,2	604	4321,1	646	4856,4	688	5358,0
563	3761,3	605	4334,3	647	4868,7	689	5369,6
564	3775,4	606	4347,4	648	4881,0	690	5381,1
565	3789,5	607	4360,5	649	4893,3	691	5392,7
566	3803,6	608	4373,7	650	4905,6	692	5404,2
567	3817,7	609	4386,7	651	4917,8	693	5415,7
568	3831,7	610	4399,8	652	4930,0	694	5427,2
569	3845,7	611	4412,8	653	4942,2	695	5438,7
570	3859,7	612	4425,9	654	4954,4	696	5450,1
571	3873,7	613	4438,9	655	4966,6	697	5461,5

Barometerstand	Höhe	Barometerstand	Höhe	Barometerstand	Höhe	Barometerstand	Höhe
mm	m	mm	m	mm	m	mm	m
698	5472,9	722	5742,1	746	6002,5	770	6254,7
699	5484,3	723	5753,1	747	6013,2	771	6265,0
700	5495,7	724	5764,1	748	6023,8	772	6275,4
701	5507,1	725	5775,1	749	6034,4	773	6285,7
702	5518,4	726	5786,1	750	6045,1	774	6296,0
703	5529,8	727	5797,1	751	6055,7	775	6306,2
704	5541,1	728	5808,0	752	6066,3	776	6316,5
705	5552,4	729	5819,0	753	6076,9	777	6326,7
706	5563,7	730	5829,9	754	6087,5	778	6337,0
707	5575,0	731	5840,8	755	6098,0	779	6347,2
708	5586,2	732	5851,7	756	6108,6	780	6357,4
709	5597,5	733	5862,5	757	6119,1	781	6367,6
710	5608,7	734	5873,4	758	6129,6	782	6377,8
711	5619,9	735	5884,2	759	6140,1	783	6388,0
712	5631,1	736	5895,1	760	6150,6	784	6398,2
713	5642,2	737	5905,9	761	6161,1	785	6408,3
714	5653,4	738	5916,7	762	6171,5	786	6418,5
715	5664,6	739	5927,5	763	6182,0	787	6428,6
716	5675,7	740	5938,2	764	6192,4	788	6438,7
717	5686,8	741	5949,0	765	6202,8	789	6448,8
718	5697,9	742	5959,7	766	6213,2	790	6458,9
719	5709,0	743	5970,4	767	6223,6		
720	5720,1	744	5981,2	768	6234,0		
721	5731,1	745	5991,9	769	6244,4		

II.

$t^0 - t_1$	Meter	$t^0 - t_1$	Meter	$t^0 - t_1$	Meter	$t^0 - t_1$	Meter
0,2	0,3	2,8	4,1	5,4	7,9	8,0	11,8
0,4	0,6	3,0	4,4	5,6	8,2	8,2	12,1
0,6	0,9	3,2	4,7	5,8	8,5	8,4	12,4
0,8	1,2	3,4	5,0	6,0	8,8	8,6	12,6
1,0	1,5	3,6	5,3	6,2	9,1	8,8	12,9
1,2	1,8	3,8	5,6	6,4	9,4	9,0	13,2
1,4	2,1	4,0	5,9	6,6	9,7	9,2	13,5
1,6	2,3	4,2	6,2	6,8	10,0	9,4	13,8
1,8	2,6	4,4	6,5	7,0	10,3	9,6	14,1
2,0	2,9	4,6	6,8	7,2	10,6	9,8	14,4
2,2	3,2	4,8	7,1	7,4	10,9	10,0	14,7
2,4	3,5	5,0	7,4	7,6	11,2	10,2	15,0
2,6	3,8	5,2	7,6	7,8	11,5	10,4	15,3

$t^0 - t_1$	Meter	$t^0 - t_1$	Meter	$t^0 - t_1$	Meter	$t^0 - t_1$	Meter
10,6	15,6	13,0	19,1	15,4	22,7	17,8	26,2
10,8	15,9	13,2	19,4	15,6	22,9	18,0	26,5
11,0	16.2	13,4	19,7	15,8	23,2	18,2	26,8
11,2	16,5	13,6	20,0	16,0	23,5	18,4	27,1
11,4	16,8	13,8	20,3	16,2	23,8	18,6	27,4
11,6	17,1	14,0	20,6	16,4	24,1	18,8	27,7
11,8	17,4	14,2	20,9	16,6	24,4	19,0	28,0
12,0	17,6	14,4	21,2	16,8	24,7	19,2	28,2
12,2	17,9	14,6	21,5	17,0	25,0	19,4	28,5
12,4	18,2	14,8	21,8	17,2	25,3	19,6	28,8
12,6	18,5	15,0	22,1	17,4	25,6	19,8	29,1
12,8	18,8	15,2	22,4	17,6	25,9		

III.

Geographische Breite.

Höhe	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
200	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4
400	2,4	2,4	2,4	2,2	2,0	2,0	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	0,8
600	3,4	3,4	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,0	1,8	1,6	1,2
800	4,5	4,5	4,5	4,3	4,1	3,8	3,5	3,1	2,8	2,4	2,0	1,7
1000	5,7	5,7	5,7	5,3	5,1	4,8	4,3	3,8	3,4	3,1	2,6	2,2
1200	7,0	7,0	6,8	6,4	6,0	5,8	5,1	4,6	4,2	3,6	3,1	2,6
1400	8,2	8,2	8,0	7,6	7,1	6,7	6,1	5,4	4,8	4,2	3,6	3,0
1600	9,2	9,2	9,0	8,8	8,2	7,6	7,0	6,2	5,6	4,8	4,1	3,4
1800	10,4	10,4	10,2	9,8	9,4	8,6	8,0	7,0	6,3	5,4	4,6	3,8
2000	11,6	11,5	11,3	11,0	10,4	9,6	8,8	7,8	7,0	6,0	5,1	4,2
2200	12,8	12,6	12,6	12,1	11,4	10,6	9,7	8,6	7,6	6,6	5,6	4,6
2400	14,0	14,0	13,8	13,3	12,5	11,6	10,6	9,4	8,4	7,2	6,1	5,1
2600	15,2	15,2	15,0	14,4	13,6	12,6	11,6	10,5	9,2	8,0	6,8	5,6
2800	16,6	16,5	16,4	15,6	14,8	13,6	12,6	11,4	10,0	8,8	7,4	6,2
3000	17,9	17,7	17,6	16,8	15,8	14,6	13,6	12,2	10,8	9,4	8,0	6,6
3200	19,1	18,9	18,7	18,0	17,0	15,7	14,6	13,1	11,5	10,1	8,6	7,0
3400	20,5	20,3	20,1	19,3	18,4	16.9	15,7	14,1	12,4	10,9	9,2	7,7
3600	21,8	21,7	21,4	20,4	19,6	18,0	16,7	15,0	13,4	11,6	9,8	8,2
3800	23,1	22,9	22,6	21,6	20,6	19.1	17,7	15,9	14,3	12,4	10,5	8,7
4000	24,6	24,4	24,0	22,9	21,9	20,3	18,7	17,0	15,1	13,1	11,2	9,4
4200	25,9	25,7	25,3	24,3	23,0	21,6	19,9	18,0	15,9	14,0	12,0	10,1
4400	27,5	27,3	26,8	25,8	24,3	23,0	21,1	19,1	16,9	15,0	12,9	10,8
4600	28,9	28,7	28,2	27,1	25,6	24,3	22,3	20,3	18,0	15,9	13,6	11,5
4800	30,4	30,2	29,6	28,4	27,0	25,5	23,4	21,3	19,0	16,7	14,3	12,1
5000	31,8	31,6	30,9	29,8	28,4	26.7	24,6	22,3	19,9	17,4	15,0	12,7
5200	33,0	32,8	32,1	31,0	29,7	28,0	25,7	23,3	20,8	18,2	15,7	13,3
5400	34,3	34,1	33,5	32,4	30,8	29,2	26,7	24,3	21,7	19,1	16,4	13,9
5600	35,7	35,5	34,8	33,7	32,1	30,2	27,8	25,3	22,6	19,9	17,2	14,5
5800	37,1	36,9	36,1	35,0	33,2	31,3	28,9	26,3	23,6	20,7	17,8	15,1
6000	38,5	38,3	37,5	36,3	34,3	32,3	30,0	27,3	24,6	21,5	18,5	15,7

IV.

Höhe	Correction Meter	Höhe	Correction Meter
400	1,71	600	0,63
450	1,39	650	0,42
500	1,11	700	0,22
550	0,86	750	0,03

Wie man sieht, besteht die ganze Tafel aus 4 verschiedenen Theilen, deren Gebrauch nun folgender ist. Durch die Beobachtungen muß gegeben sein:

1) Der Barometerstand der unteren Station = B
2) Der Barometerstand der oberen Station = b
3) Die Temperatur des Quecksilbers in der unteren Station = t
4) Die Temperatur des Quecksilbers in der oberen Station = t_1
5) Die Temperatur der Luft in der unteren Station = T
6) Die Temperatur der Luft in der oberen Station = T_1
7) Die geographische Breite = ψ.

Hat man alle diese Angaben für den gesuchten Fall sämmtlich in Zahlen ausgedrückt, so wird:

a) Nach Tafel I. die zu B gehörige Höhe (= H) gesucht, eben so die zu b gehörige Höhe (= H_1), indem man aus der Columne „Höhe" die Zahl, welche dem Barometerstande B und b in der Columne „Barometerstand" entspricht, nimmt.

b) Man suche den Unterschied der Temperaturen des Quecksilbers in beiden Beobachtungsorten, also $t - t_1$, und suche diese Zahl in der Tafel II. auf. Die dieser gegenüberstehende Zahl (m) wird zu der Höhe (H), welche dem Barometerstande B entspricht, mit ihrem Zeichen hinzugesetzt. Wird von der so corrigirten Höhe H H_1 abgezogen, so erhält man zunächst die gesuchte Höhendifferenz Z, welche aber noch weiteren Correctionen unterworfen werden muß.

c) Der tausendste Theil von Z wird mit der doppelten Summe der Thermometerstände T und T_1 in der freien Luft an beiden Stationen multiplicirt. Dies Product ist die Correction wegen der Luftwärme = Z_1, das mit dem Zeichen, welches der Größe $\frac{T + T_1}{2}$ zukommt, zu Z hinzugesetzt wird. Man erhält so $Z + Z_1$.

d) Aus der Tafel III. nehme man nun die Zahl, welche zugleich in der verticalen Reihe der Breite ψ entspricht und in der horizontalen Reihe der Größe $Z + Z_1$. Sie sei Z_2; man berechne nun $Z + Z_1 + Z_2$.

e) Wenn die Höhe der unteren Station schon sehr bedeutend war, so bedarf es noch einer Correction wegen der Abnahme der Schwere, wozu Tafel IV. Gelegenheit bietet. Man gebraucht sie so: 1000^m verhalten sich zur gefundenen Höhe, wie die zu B gehörige Correction (aus der Tafel III.) zur gesuchten Correction. Diese hieraus gefundene Zahl heiße Z_3; so ist die wahre gesuchte Höhendifferenz = $Z + Z_1 + Z_2 + Z_3$.

Beispiel. Gegeben sind folgende Beobachtungen von Wien und dem Gipfel des Gamskahrkogels im Salzburgschen (Breite $47^0\ 10' = \psi$).

Station	Barometerstand.	Temperatur des Quecksilbers	Temperatur der Luft
Wien . . .	$747{,}45^{mm} = B$	0^0 C. $= t$	$16^0{,}2$ C $= T$
Gamskahrkogel	$569{,}10^{mm} = b$	10^0 C. $= t_1$	$9^0{,}2$ C $= T_1$

Man findet (nach a) $H = 6017{,}9^m$

$H_1 = 3847{,}1^m$

ferner (nach b) $t - t_1 = - 10^0$ C.

$m = - 14{,}7$

also ist: $H - m = 6003{,}2^m$

$Z = H - m - H_1 = 2156{,}1^m$

ferner (nach c) $\frac{Z}{1000} 2 (T + T_1) = Z_1 = 2{,}1561 \times 2 (16{,}2 + 9{,}2)$

$Z_1 = 109{,}5^m$

also: $Z + Z_1 = 2265{,}6^m$

ferner (nach d) $Z_2 = 6{,}6^m$

also: $Z + Z_1 + Z_2 = 2272{,}2^m$

endlich (nach e) $1000^m : 2272{,}2^m = 0{,}03 : x$

$x = 0{,}068$

Diese letzte Correction trifft also die nur bis zu Zehnteln fortgesetzte Höhenbestimmung nicht mehr, und man hat folglich als gesuchte Höhendifferenz = 2272,2 Meter.

Zur Erleichterung der Rechnung hat auch Gauß Tafeln geliefert *).

I.

$T + T'$ = der Summe der in beiden Stationen beobachteten Temperaturen der Luft in Réaum. Graden.

T + T′	A für Meter	A′ für Par. Fuß	T + T′	A für Meter	A′ für Par. Fuß
—10	4,25337	4,74170	+ 5	4,26980	4,75813
9	4,25448	4,74281	6	4,27087	4,75920
8	4,25560	4,74393	7	4,27195	4,76028
7	4,25671	4,74504	8	4,27301	4,76134
6	4,25781	4,74614	9	4,27408	4,76241
5	4,25892	4,74725	10	4,27514	4,76347
4	4,26002	4,74835	11	4,27620	4,76453
3	4,26111	4,74944	12	4,27726	4,76559
2	4,26220	4,75053	13	4,27832	4,76665
1	4,26330	4,75163	14	4,27937	4,76770
0	4,26439	4,75272	15	4,28042	4,76875
+ 1	4,26548	4,75381	16	4,28147	4,76980
2	4,26658	4,75491	17	4,28251	4,77084
3	4,26765	4,75598	18	4,28356	4,77189
4	4,26872	4,75705	19	4,28460	4,77293

*) Gehler's phys. Wörterbuch. N. B. Bd. V. S. 329, vergl. auch: Suckow, barometrische Hypsometrie. Bode, astronom. Jahrbuch für 1818.

T + T′	A für Meter	A′ für Par. Fuß	T + T′	A für Meter	A für Par. Fuß
+ 20	4,28564	4,77397	+ 36	4,30192	4,79025
21	4,28667	4,77500	37	4,30291	4,79124
22	4,28770	4,77603	38	4,30391	4,79224
23	4,28874	4,77707	39	4,30490	4,79323
24	4,28976	4,77809	40	4,30589	4,79422
25	4,29079	4,77912	41	4,30688	4,79521
26	4,29181	4,78014	42	4,30787	4,79620
27	4,29283	4,78116	43	4,30885	4,79718
28	4,29385	4,78218	44	4,30984	4,79817
29	4,29487	4,78320	45	4,31082	4,79915
30	4,29588	4,78421	46	4,31179	4,80012
31	4,29689	4,78522	47	4,31277	4,80110
32	4,29790	4,78623	48	4,31374	4,80207
33	4,29891	4,78724	49	4,31471	4,80304
34	4,29991	4,78824	50	4,31568	4,80401
35	4,30092	4,78925	51		

II.

Correction von A.

Polhöhe	+		Polhöhe	+	
0⁰	0,00124	90⁰	23	0,00086	67⁰
1	123	89	24	83	66
2	123	88	25	79	65
3	123	87	26	76	64
4	122	86	27	73	63
5	122	85	28	69	62
6	121	84	29	65	61
7	120	83	30	62	60
8	119	82	31	58	59
9	118	81	32	54	58
10	116	80	33	50	57
11	115	79	34	46	56
12	113	78	35	42	55
13	111	77	36	38	54
14	109	76	37	34	53
15	107	75	38	30	52
16	105	74	39	26	51
17	102	73	40	21	50
18	100	72	41	17	49
19	97	71	42	13	48
20	95	70	43	9	47
21	92	69	44	4	46
22	89	68	45	0	45
23	86	67			
	—	Polhöhe		—	Polhöhe

III.

Correction des berechneten Logarithmen V.

V	+	V'	V	+	V'
1,9	0,00001	2,4	3,1	0,00009	3,6
2,3	1	2,8	3,2	11	3,7
2,4	2	2,9	3,3	14	3,8
2,5	2	3,0	3,4	17	3,9
2,6	3	3,1	3,5	22	4,0
2,7	3	3,2	3,6	27	4,1
2,8	4	3,3	3,7	34	4,2
2,9	5	3,4	3,8	43	4,3
3,0	7	3,5	3,9	54	4,4

Der Gebrauch dieser Tabellen ist folgender:

Nachdem man die beiden beobachteten Barometerstände in gleichem Maße = B und = b, die zugehörige Wärme des Quecksilbers = t und t_1 in Réaum. Graden ausgedrückt und die Summe der Temperatur der Luft in beiden Stationen = T + T' bestimmt hat, sucht man zuerst die fünfstelligen Briggischen Logarithmen beider Barometerhöhen und schreibt hinter jeder das Zehnfache t oder t_1. Man nimmt die Differenz der Logarithmen und die Differenz der hinter ihnen aufgezeichneten Zahlen, die letzte subtrahirt man von der Differenz der Logarithmen. Die so erhaltene Zahl = u schlägt man in den Logarithmentafeln auf, und schreibt log u hin; zu diesem addirt man das der Temperatur gemäße, und nach der Polhöhe aus II. corrigirte A; die Summe giebt V oder V', je nachdem man A oder A' aus der ersten Tafel angewendet hat; man fügt den aus III. hervorgehenden Correctionswerth hinzu, und hat dann den Logarithmen der Höhe, und diese Höhe in Fußen oder Metern ausgedrückt, je nachdem man A oder A' angewendet hat.

Das oben gewählte Beispiel würde also in folgender Weise zu berechnen sein:

$$B = 747{,}45^{mm};\ t = 0^0\ R.;\ T = 12{,}96^0\ R: \qquad \psi = 47^0\ 10'$$
$$b = 569{,}10^{mm};\ t_1 = 8^0\ R.;\ T_1 = 7{,}36^0\ R:$$
$$T + T_1 = 20{,}32.$$

log B = 2,87358 0,00000
log b = 2,75519 0,00080

0,11839 0,00080
80

u = 0,11759

Die Correction von A ist hier nicht nöthig.

log u = 9,07037 — 10
A = 4,28598

V = 3,35635
Correction aus III. 15

3,35650

aber 3,35650 ist = log 2272^{m},5, während nach den Oltmanns'schen Tabellen 2272^{m},2 gefunden wurde.

Wenn man den Höhenunterschied zweier Orte nach gleichzeitigen Barometerbeobachtungen an beiden Orten berechnen will, so muß man wo möglich zwei völlig in ihren Schwankungen übereinstimmende Barometer an den beiden Orten anwenden. Jedenfalls muß man vor den Beobachtungen sowohl als nach denselben die beiden anzuwendenden Barometer genau mit einander vergleichen. Ergiebt sich, daß die Differenz beider Barometer constant ist, so reicht eine einfache Addition oder Subtraction hin, die Resultate der Beobachtungen zu berichtigen, ist dagegen die Differenz veränderlich, so wird man niemals zuverlässige Resultate erhalten. Was die Zeit betrifft, welche man zu Beobachtungen, die Höhenmessungen zum Zwecke haben, anwendet, so ist im Allgemeinen Regel, daß man nicht zu Zeiten, welche von ungewöhnlichen Barometerschwankungen begleitet zu sein pflegen, beobachte. Daher darf man nicht beobachten bei heftigen oder veränderlichen Winden und bei Regengüssen, eben so wenig bei ungewöhnlich hohem Thermometerstande, bei sehr veränderlicher Temperatur, bei großer Trockenheit der Luft. Am geeignetsten zu Beobachtungen sind neblige Tage mit umwölktem Himmel. Man hat ferner die Erfahrung gemacht, daß zu Mittage angestellte Beobachtungen die Höhen immer zu groß, bei Nachtzeit angestellte dagegen dieselben zu klein geben. Nach d'Aubuisson ist die geeignetste Zeit zu Höhenmessungen 8 Uhr Vormittags oder 4 Uhr Nachmittags, in welcher Zeit die Temperaturveränderungen am langsamsten vor sich gehen. Baumgartner *) erinnert, daß man bei Reisen auf Berghöhen um Barometermessungen anzustellen, nicht allein einen Barometer und einen freien Thermometer mit sich führen müsse, sondern auch die zur Aufstellung dieser Instrumente nöthigen Gestelle **), um so mehr als man in großen, der Vegetation entrückten Gegenden, nicht immer Gelegenheit findet, die Instrumente an einen Baum zu hängen. Vorzüglich gute Dienste leistet ein dreifüßiges Gestell, aber auch ein rechtwinklig gebogener eiserner Haken soll nicht fehlen, und man thut gut sich zugleich mit einem Fernrohre zu versehen, das ein Fadenkreuz hat und mit einer Libelle verbunden ist. Auf der Reise zum Beobachtungsorte hat man auf das Barometer die größte Aufmerksamkeit zu verwenden und insbesondere dafür zu sorgen, daß es nicht Luft fange und das Quecksilber nicht über Gebühr erhitzt werde. Darum halte man es stets in einiger Entfernung vom Körper und wo möglich auf der Schattenseite, trage es mit dem oberen Ende nach vorwärts gekehrt, lege es beim etwaigen Ausruhen nicht auf feuchten Boden oder auf Felsen, die von der Sonne beschienen werden oder die Zeichen einer starken Wärmestrahlung an sich tragen.

Ist man an Ort und Stelle angelangt, so wird das Barometer aufgehängt. Ist ein Fels, ein Baum rc. in der Nähe, so kann dieses mittelst des oben erwähnten Hakens geschehen, den man in das Holz oder in einen Felsensprung hineintreibt; fehlt es an solchen natürlichen Stützen, so muß man den dazu bestimmten Dreifuß aufrichten. Das Barometer soll stets im Schatten hängen. Bietet ein hervorragender Fels einen Schatten dar, so ist dieser zu benutzen; auch wenn das Baro-

---

*) Naturlehre, Supplement. Wien 1831. S. 241.

**) Vergl. Art. Barometer. Bd. I. S. 687.

meter an einen Baum gehängt wird, soll es an der Schattenseite geschehen. In Ermangelung dessen benutzt man den Schatten des Dreifußes, eines Begleiters, zusammengetragener Steine ꝛc. oder man spannt einen eigens dazu bestimmten Schirm auf. In Ermangelung jedes anderen Hülfsmittels umwickelt man das Barometer bis zu der Stelle, wo man beobachtet, mit einem zu Gebote stehenden, am besten weißen Tuche. Bei starkem Winde wird das Schwanken des Barometers durch Steine oder Erdstücke gehemmt. Ist das Barometer aufgestellt, so darf man doch nicht alsogleich zum Beobachten des Luftdruckes schreiten, sondern man muß abwarten, bis der Augenblick eintritt, wo man es für wahrscheinlich halten kann, daß das am Barometer befestigte Thermometer die Temperatur des Quecksilbers im Barometer richtig angiebt. Man betrachte darum von Zeit zu Zeit dieses Thermometer, und beurtheile sorgfältig, was etwa auf Rechnung der Strahlung, zufälliger Einflüsse ꝛc. kommt. Nach einer Viertelstunde bei Barometern, die in Metall gefaßt sind und bei bewölktem Himmel, aber erst nach einer halben Stunde beim Gebrauch eines Barometers in hölzerner Fassung oder bei heiterem Himmel und Sonnenschein, kann man den Stand des Thermometers als Anzeige der Temperatur des Quecksilbers brauchen. Diesen Stand muß man aber vor der Barometerbeobachtung kennen lernen, um nicht durch anhaltende Nähe des Körpers, wie sie zum Behufe des Einstellens und Beobachtens des Barometers nothwendig ist, das Thermometer mehr als das Barometer zu afficiren und dadurch eine fehlerhafte Temperatur in Rechnung zu bringen. Ist die Temperatur des Quecksilbers bekannt, so geht man zur Beobachtung der Quecksilbersäule im Barometer über, wobei man auf richtige Stellung des Auges, auf den verticalen Stand der Quecksilbersäule ꝛc. wohl zu sehen hat. Der letztere läßt sich manchmal nur schwer herstellen, weil auf großen isolirten Höhen häufig starke Winde hausen, so daß man oft sogar genöthigt ist, den Barometerstand bei schwankender Säule aus der Excursionsweite und dem tiefsten, beim Sinken des Quecksilbers eintretenden Stande derselben abzunehmen. Das Thermometer, welches die Luftwärme angeben soll, bedarf einer nicht minderen Sorgfalt. Es muß an einem offenen, luftigen Orte im Schatten aufgehängt werden und von dem Träger, von Felsen oder Mauern wenigstens einige Zoll entfernt sein. Es gehört Ueberlegung dazu, um den rechten Wärmegrad der Luft zu treffen, denn das Thermometer steigt und sinkt, so wie die Sonne sich zeigt oder sich hinter Wolken verbirgt, oder Winde ihr Spiel mit mehr oder weniger Lebhaftigkeit treiben. Bei ganz ruhiger Luft erhält man selten die Temperatur der atmosphärischen Schichten, um die es sich handelt, sondern die des Beobachtungsortes, und während des Windes täuscht man sich nicht selten, besonders wenn er nicht constant ist. — Hat man die nöthigen Beobachtungen gemacht, so werden sie in das dazu bestimmte Manuale eingetragen und denselben noch überdies die Höhe des unteren Quecksilbergefäßes des Barometers über dem Boden beigesetzt, um sie bei der Höhenberechnung vom Resultate abziehen zu können. Hat man wegen Mangel eines zweckmäßigen Platzes zum Aufstellen der Instrumente, überdies eine unter dem zu bestimmenden Berggipfel liegende Station wählen müssen, so muß man auch noch diese Höhe schätzen, oder durch Nivelliren bestimmen, um sie zur beobachteten Höhe addiren zu können. Eine richtige Höhenbestimmung setzt zwei gleichzeitige Beobachtungen voraus, wozu demnach zwei Beobachter nothwendig sind. Soll ein einziger Beobachter das ganze Geschäft übernehmen, so muß er aus den nach gewissen Zwischenzeiten in

beiden Stationen gemachten Beobachtungen auf den daselbst herrschenden gleichzeitigen Druck und die Temperatur schließen. Zu diesem Ende beobachtet man an der unteren Station vor der Reise auf die obere den Luftdruck, und thut dasselbe abermals nach der Rückkehr von derselben, um mittelst der zwischen beiden Beobachtungen verflossenen Zeit, die stündliche Aenderung des Luftdruckes *) berechnen und daraus den Barometerstand entnehmen zu können, welcher unten in dem Augenblicke herrschte, als man das Barometer in der oberen Station beobachtete. Kehrt man aber nicht wieder in die erste Station zurück, so läßt man auf die erste daselbst gemachte Beobachtung nach einer Zeit, die wenigstens so lang ist, als man braucht, um den halben Weg zur oberen Station zurückzulegen, eine zweite Beobachtung folgen und benutzt die dabei bemerkte Veränderung des Luftdruckes, um den Barometerstand in der unteren Station zur Zeit der oberen Beobachtung zu berechnen. — Die Temperatur läßt sich mit weniger Sicherheit erschließen. Indeß meint man der Wahrheit ziemlich nahe zu kommen, wenn man statt der Größe $t + t$, nur $2t$, setzt und dann die so sich ergebende Höhe um das Quadrat ihres 500. Theiles vermehrt.

Alle die Umstände, welche — wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich ist — zu beachten, alle die Bedingungen, deren Erfüllung vorausgesetzt wird, lassen die barometrische Höhenmessung nicht eben Vertrauen erweckend erscheinen. Ein zuverlässiges Resultat zu erhalten, kann man gewiß da nicht erwarten, wo nur einzelne Beobachtungen der in Rechnung zu ziehenden Faktoren möglich gewesen sind, da dieselben an demselben Orte nicht unveränderlich bleiben **). Daraus erklären sich die verschiedenen Höhenangaben über bedeutende Berge. Wir finden z. B. folgende Angaben ***):

Montblanc: 14793, 14772, 14691, 14676, 14556, 14346 Fuß.
Hospiz des St. Gotthard: 6700, 6650, 6573, 6424, 6390.
Inselberg auf dem Thüringer-Walde: 3127, 2832, 2791, 2604, 2449.
Brocken auf dem Harze: 3562, 3528, 3486, 3455, 3368, 3276, 3270.

Wo es möglich war, hat man deshalb die Beobachtungen oft genug wiederholt, um das arithmetische Mittel und in diesem ein von periodischen und zufälligen Veränderungen freies Resultat zu gewinnen. Konnten die Beobachtungen noch länger fortgesetzt werden, so legte man das sogenannte Jahresmittel zu Grunde sowohl für den Barometer- als Thermometerstand. Mit Hülfe dieser Jahresmittel glaubte man sogar den Höhenunterschied zweier, von einander beliebig entfernter Punkte bestimmen zu können, indem man annahm, daß die mittleren Werthe des Luftdrucks in der Oberfläche des Meeres überall dieselben seien.

Indessen auch dies Verfahren ist, wie Vergleichungen mit auf anderem Wege genau ermittelten Höhen ergeben, nicht ausreichend, weil erstens das Jahresmittel in verschiedenen Jahren an demselben Orte verschieden ausfällt, und zweitens der Barometerstand im Niveau des Meeres nicht allenthalben derselbe ist.

---

*) Vergl. Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 497 ff.
**) Vergl. Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 492 ff.
***) Baumgartner, Naturlehre, Suppl. Wien 1831. S. 966 ff.

A. Erman *) hat nachgewiesen, daß auf jedem der durch den Großen und der durch den Atlantischen Ocean gehenden Meridiane der mittlere Barometerstand ganz nahe am Aequator ein relatives Minimum erreicht und zwei Maxima, von denen in jeder Halbkugel eines bei der dem Pole zugekehrten Grenze derjenigen Zone gelegen ist, in welcher der Passatwind ununterbrochen weht, d. h. bei etwa 23° bis 25° nördlicher und südlicher Breite. Hierzu kommt noch, daß die Abnahme in der Größe des Luftdrucks auf verschiedenen Meridianen von den Polargrenzen der Passatzonen bis zu höheren Breiten keineswegs gleich ist. Auch scheint bei gleicher Breite der mittlere Barometerstand auf dem Großen Oceane beträchtlich (etwa 1,4 Par. Lin.) kleiner zu sein, als auf dem Atlantischen.

Mit Berücksichtigung dieser Verhältnisse erklärt sich, warum aus barometrischen Beobachtungen die Höhe des Schwarzen Meeres über dem Kaspischen Meere zu 256 Par. Fuß gefunden wurde, während dieselbe nach einer zuverlässigen Triangulation nur 94,9 Par. Fuß beträgt.

Das barometrische Höhenmessen ist also ganz entschieden von der unbegrenzten Anwendbarkeit, welche man ihm früher zuschrieb, herabgesetzt **) und auf die Interpolation der Höhen solcher Orte beschränkt, die zwischen geometrisch bestimmten Orten liegen, deren Abstand vom Meeresspiegel mithin bekannt ist. H. E.

Höhenmessung, thermometrische. Bekanntlich hängt die Temperatur, bei welcher das Wasser zu sieden anfängt, mit dem Barometerstande aufs engste zusammen ***), indem dieselbe um so niedriger wird, je niedriger das Barometer steht. Je höher daher ein Berg ist, bei einem um so geringeren Temperaturgrade wird das Wasser sieden, und da nun durch ein in das siedende Wasser eingetauchtes Thermometer die Temperatur desselben angegeben wird, so wird man auch aus den Anzeigen des Thermometers auf den am Beobachtungsorte stattfindenden Barometerstand schließen können, so daß man durch die Beobachtung der Siedetemperatur die zur barometrischen Höhenmessung erforderlichen Barometerstände erhält, aus denen man alsdann die Höhe berechnen kann. (Vergl. Höhenmessung, barometrische.)

Der Gedanke, das Thermometer zur Höhenmessung zu benutzen, lag nahe und ist auch öfter ausgesprochen worden, z. B. von Le Monnier und Cassini ****), Secondat de Montesquieu *****) u. A.; ihn zweckmäßig auszuführen, scheint aber erst Wollaston unternommen zu haben †). Es erscheint dies wunderbar, da sich das Thermometer weit leichter transportiren läßt als ein Barometer, und die Anfertigung der Reisebarometer (vergl. Art. Barometer) mit so vielfachen Schwierigkeiten verknüpft ist; indessen der hier in Rede

---

*) Vergl. Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 524. Poggend. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 260. Meteorolog. Beobachtungen bei einer Seereise ꝛc. in Schumacher's Astronom. Jahrb. für 1840 und im Archiv für Wissenschaftl. Kunde von Rußland. Bd. III. S. 465.

**) Vergl. Bessel in Astronom. Nachrichten 1835 Nr. 279 und Poggend. Ann. Bd. XXXVI. S. 187. Vergl. auch Bd. XXXII. S. 561.

***) Vergl. Art. Dampf. Bd. II. S. 22 u. 42.

****) Philos Trans. No. 385. p. 179.

*****) Mém. de l'Acad. de Paris 1740. p. 131.

†) Phil. Transact. for 1817. p. 183. for 1820. p. 295. Schweigger's Journ. Bd. XXIII. S. 261.

stehende Gegenstand hat auch seine Uebelstände, deren Beseitigung nicht so einfach ist, wie man wohl zu glauben geneigt sein möchte.

Ein Unterschied von 1 Millimeter im Barometerstande entspricht einem Unterschiede von weniger als 0°05 C. im Siedepunkte. Folglich kann man die gewöhnlichen Thermometer zu dergleichen Messungen durchaus nicht benutzen. Ferner ist der Siedepunkt abhängig von der Natur des Gefäßes, in welchem die Flüssigkeit, hier Wasser, zum Sieden gebracht wird *). Endlich macht die veränderliche Lage des Nullpunktes, namentlich nach Beobachtungen höherer Temperaturen, eine fortwährende Controle des Instrumentes nöthig, weil hierdurch der Werth eines Grades immer ein anderer wird. Person **) hat, indem er bei 440° C. arbeitete, an den benutzten Thermometern Erhöhungen des Nullpunktes von 12, von 15 und selbst von 17 Graden erhalten.

Soll das Thermometer möglichst kleine Temperaturdifferenzen anzeigen, so müßte es eine im Verhältniß zu dem Caliber der Röhre möglichst große Kugel haben und, da es sich um die Temperaturen handelt, welche dem normalen Siedepunkte nahe liegen, mit einer langen Röhre versehen sein. Wollaston machte die hypsometrischen (zu Höhenmessungen bestimmten) Thermometer, um sie zu verkürzen, in der Weise, daß an die aus starkem Glase verfertigte Kugel nicht unmittelbar die enge Röhre stieß, sondern zunächst ein weiterer Röhrentheil, in welchen sich das Quecksilber zurückzog bei denjenigen Temperaturen, welche voraussichtlich bei der Bestimmung des Siedepunktes auf den zu messenden Höhen nicht in Betracht kommen. Die Scala umfaßte also nur den oberen Theil der gewöhnlichen Thermometer, und war in einem solchen Verhältnisse zu dem Behälter, daß 1° Fahrenheit fast 4 Zoll Länge hatte.

Am meisten hat sich später Regnault mit diesem Gegenstande beschäftigt ***). Um genaue Resultate bei derlei Bestimmungen zu erhalten, ist es nach demselben nicht genug, daß das Thermometer mit großer Genauigkeit getheilt sei; es muß auch sein Behälter aus einem Glase bestehen, das sich sehr regelmäßig ausdehnt. Mit gewöhnlichem Glase construirte Thermometer zeigen oft Verschiebungen des Nullpunktes um $^1/_2$ Grad blos dadurch, daß in der Zwischenzeit zweier Bestimmungen dieses Festpunktes das Thermometer auf 100° gebracht ward ****). Thermometerröhren von Krystallglas bieten nur sehr geringe, selten auf 0°,05 steigende, meistens darunter bleibende Veränderungen dar.

Regnault giebt seinem Thermometer eine willkürliche Theilung, die nur von 80 bis 100° C. reicht. Es ist folgendermaßen graduirt. Zuerst ist es mit Quecksilber gefüllt so weit, daß letzteres bei Eintauchung in schmelzendes Eis von dem Behälter aus beim Drittel der Röhre stehen bleibt. Man bezeichnet diesen Punkt genau und stellt darauf das Thermometer in Wasser von der umgebenden Temperatur, das man beständig umrührt, neben einem Normalthermometer. Hat man nun den jetzigen Stand aufgezeichnet, so kann man berechnen, wie viel Theile

*) Vergl. Art. Dampf. Bd. II. S. 25 ff.

**) Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 370 aus Compt. rend. T. XIX. p. 1314.

***) Compt. rend. T. XX. p. 163. Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 360. Bd. LXVII. S. 384.

****) Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. IV. p. 65. Poggend. Ann. Bd. LV. S. 584.

der willkürlichen Theilung einen Grad nach C. ausmachen. Man läßt jetzt eine Portion Quecksilber austreten, so daß, wenn das Thermometer in den Dampf von siedendem Wasser gebracht wird, die Quecksilbersäule noch oben in der Röhre stehen bleibt. Dann reinigt man das Thermometer wie gewöhnlich von Luft und bestimmt genau den Punkt 100 der willkürlichen Scala. Der Gradwerth des so modificirten Thermometers ergiebt sich durch eine sehr einfache Rechnung aus dem Werthe, den man für den Grad des ursprünglichen Thermometers gefunden hatte *).

Der Kochapparat, welchen Regnault construirt hat, ist sehr compendiös. Er besteht aus mehreren Messingröhren, die — wie das Rohr eines Fernglases — in einander zu schieben sind. Die untere Röhre, die 30 Millimeter Durchmesser hat, dient als Kessel, und wird mit etwa 40 Cubikcentim. Wasser gefüllt; sie ist von einer weiteren Röhre umgeben, die auf eine Weingeistlampe geschraubt wird, als Schornstein dient und die Flamme vor dem Winde schützt. Völlig eingeschoben hat der Apparat eine Höhe von 15 Centim., ausgezogen eine von 55. Die nebenstehende Figur zeigt den Apparat. ijkl dient als Kessel; diese Röhre schraubt sich an eine weitere Hülle, cdhg, an welche mittelst eines Bayonettschlüssels eine kleine Weingeistlampe abcd befestigt wird. Um den zur Verbrennung nöthigen Luftzug zu schaffen, sind in der Hülle cdhg Oeffnungen angebracht, unten bei o, o, oben bei o′, o′. Ein ausgeschnittener Ring erlaubt die unteren Oeffnungen theilweise zu schließen, wenn der Wind zu heftig weht. Das Thermometer hängt man so auf, daß sein Behälter 2 bis 3 Centimeter über der Wasserfläche schwebt und das Ende der Quecksilbersäule während des Siedens so eben aus dem Pfropfen v hervorragt, was sich durch zweckmäßiges Ausziehen der Röhren leicht bewerkstelligen läßt.



Um nun aus den beobachteten Siedetemperaturen den entsprechenden Barometerstand zu erhalten, dienen die Tafeln über die Spannkraft des Wasserdampfes. Regnault hat eine solche von — 32° C. bis + 100 C. gegeben **), welche sich nach Beobachtungen von Martins und Bravais ***) und von Izarn ****) als zuverlässig bewährt hat. Ueberdies giebt der Art. Dampf hierüber nähere Auskunft. Um indessen den Reisenden die hypsometrischen Bestimmungen zu erleichtern, giebt Regnault *****) eine Tafel, welche zwischen 85° und 101° für jeden Zehntelgrad die den beobachteten Siedepunkten des Wassers entsprechenden Barometerstände, reducirt auf 0°, angiebt. Diese Tafel ist folgende:

*) Poggend. Ann. Bd. LXVII. S. 389.

**) Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XI. p. 334. Poggend. Ann. Ergänzungsband (LXXII. b) S. 119 ff.

***) Compt. rend. T. XX. p. 166. Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 365.

****) Compt. rend. T. XX. p. 169. Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 368.

*****) Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XIV. p. 196. Poggend. Ann. Bd. LXVII. S. 390.

Grad	Spannung	Untersch.	Grad	Spannung	Untersch.
	mm			mm	
85°,0	433,04	1,71	89°,2	509,65	1,95
85,1	434,75	1,71	89,3	511,60	1,96
85,2	436,46	1,71	89,4	513,56	1,97
85,3	438,17	1,72	89,5	515,53	1,97
85,4	439,89	1,73	89,6	517,50	1,98
85,5	441,62	1,73	89,7	519,48	1,98
85,6	443,35	1,74	89,8	521,46	1,99
85,7	445,09	1,75	89,9	523,45	2,00
85,8	446,84	1,75	90,0	525,45	2,00
85,9	448,59	1,75	90,1	527,45	2,01
86,0	450,34	1,76	90,2	529,46	2,02
86,1	452,10	1,77	90,3	531,48	2,02
86,2	453,87	1,77	90,4	533,50	2,03
86,3	455,64	1,78	90,5	535,53	2,04
86,4	457,42	1,79	90,6	537,57	2,04
86,5	459,21	1,79	90,7	539,61	2,05
86,6	461,00	1,80	90,8	541,66	2,06
86,7	462,80	1,80	90,9	543,72	2,06
86,8	464,60	1,81	91,0	545,78	2,07
86,9	466,41	1,81	91,1	547,85	2,07
87,0	468,22	1,82	91,2	549,92	2,08
87,1	470,04	1,83	91,3	552,00	2,09
87,2	471,87	1,83	91,4	554,09	2,10
87,3	473,70	1,84	91,5	556,19	2,10
87,4	475,54	1,84	91,6	558,29	2,10
87,5	477,38	1,85	91,7	560,39	2,12
87,6	479,23	1,85	91,8	562,51	2,12
87,7	481,08	1,86	91,9	564,63	2,13
87,8	482,94	1,87	92,0	566,76	2,13
87,9	484,81	1,88	92,1	568,89	2,14
88,0	486,69	1,88	92,2	571,03	2,15
88,1	488,57	1,88	92,3	573,18	2,16
88,2	490,45	1,89	92,4	575,34	2,16
88,3	492,34	1,90	92,5	577,50	2,17
88,4	494,24	1,91	92,6	579,67	2,17
88,5	496,15	1,91	92,7	581,84	2,18
88,6	498,06	1,92	92,8	584,02	2,19
88,7	499,98	1,92	92,9	586,21	2,20
88,8	501,90	1,92	93,0	588,41	2,20
88,9	503,82	1,94	93,1	590,61	2,21
89,0	505,76	1,94	93,2	592,82	2,22
89,1	507,70	1,95	93,3	595,04	2,22
89,2	509,65		93,4	597,26	

Grad	Spannung	Untersch.	Grad	Spannung	Untersch.
	mm			mm	
93°,4	597,26	2,23	97°,2	687,02	2,51
93,5	599,49	2,23	97,3	689,53	2,51
93,6	601,72	2,25	97,4	692,04	2,52
93,7	603,97	2,25	97,5	694,56	2,52
93,8	606,22	2,26	97,6	697,08	2,53
93,9	608,48	2,26	97,7	699,61	2,54
94,0	610,74	2,27	97,8	702,15	2,55
94,1	613,01	2,28	97,9	704,70	2,56
94,2	615,29	2,29	98,0	707,26	2,56
94,3	617,58	2,29	98,1	709,82	2,57
94,4	619,87	2,30	98,2	712,39	2,58
94,5	622,17	2,31	98,3	714,97	2,59
94,6	624,48	2,31	98,4	717,56	2,59
94,7	626,79	2,32	98,5	720,15	2,60
94,8	629,11	2,33	98,6	722,75	2,60
94,9	631,44	2,34	98,7	725,35	2,61
95,0	633,78	2,34	98,8	727,96	2,62
95,1	636,12	2,35	98,9	730,58	2,63
95,2	638,47	2,36	99,0	733,21	2,64
95,3	640,83	2,36	99,1	735,85	2,65
95,4	643,19	2,38	99,2	738,50	2,66
95,5	645,57	2,38	99,3	741,16	2,67
95,6	647,95	2,39	99,4	743,83	2,67
95,7	650,34	2,39	99,5	746,50	2,68
95,8	652,73	2,40	99,6	749,18	2,69
95,9	655,13	2,41	99,7	751,87	2,70
96,0	657,54	2,41	99,8	754,57	2,71
96,1	659,95	2,42	99,9	757,28	2,72
96,2	662,37	2,43	100,0	760,00	2,73
96,3	664,80	2,44	100,1	762,73	2,73
96,4	667,24	2,45	100,2	765,46	2,74
96,5	669,69	2,46	100,3	768,20	2,75
96,6	672,14	2,46	100,4	771,95	2,76
96,7	674,60	2,47	100,5	773,71	2,77
96,8	677,07	2,48	100,6	776,48	2,78
96,9	679,55	2,48	100,7	779,26	2,78
97,0	682,03	2,49	100,8	782,04	2,79
97,1	684,52	2,50	100,9	784,83	2,80
97,2	687,02		101,0	787,63	

Die große Sicherheit, welche durch Regnault's Bemühungen das thermometrische Höhenmessen erlangt hat, wird wahrscheinlich Veranlassung das leicht

zerbrechliche Barometer auf allen Reisen zu verdrängen, wo man nicht anders als zu Pferde fortkommen kann. Mit Rücksicht hierauf hat Kupfer *) eine Formel angegeben, nach welcher solche Beobachtungen mit großer Leichtigkeit berechnet werden können.

Die Höhenunterschiede verhalten sich wie die Unterschiede der Logarithmen der Barometerhöhen. Dasselbe Verhältniß hat nahezu auch zwischen den Temperatur-Unterschieden und den Druckhöhen des Wasserdampfes statt; die Höhenunterschiede müssen sich aber nahezu wie die Temperatur-Unterschiede verhalten.

Es sei t die Temperatur, in Graden nach C. ausgedrückt, aber nicht von 0^0 hinauf, sondern von 100^0 hinab gezählt, und Z die Höhe des Standpunktes über demjenigen Punkte, wo der Kochpunkt des Wassers 100^0 ist, oder wo die Barometerhöhe auf 0^0 reducirt $= 760^{mm}$ ist, so hat man ziemlich nahe, wenn die Höhe nicht 150 Meter übersteigt

$$Z = 300\, t.$$

Dabei ist die mittlere Temperatur der Luft zu $9^0,3$ angenommen, die Barometerhöhen aber sind auf 0^0 reducirt worden. Da, wo der mittlere Barometerstand am Meere 760^{mm} beträgt, sind die berechneten Zahlen die Höhe über der Meeresfläche; wo das nicht der Fall ist, muß man zu jeder berechneten Höhe eine constante Größe hinzufügen, ungefähr 10 Meter für jedes Millimeter, um welches der mittlere Barometerstand größer ist als 760^{mm}.

Nach der obigen Formel ist es leicht, das Thermometer so zu theilen, daß es unmittelbar die Höhe des Standpunktes über der Meeresfläche angiebt.

Die Höhe nach der Näherungsformel differirt gegen die genau berechnete bei 1^0 um 5^m, bei 2^0 und 3^0 um 6^m, bei 4^0 um 4^m, bei 5^0 geben beide Methoden genau 1500^m.

Eben so hat die thermometrische Höhenmessung Christie einige Vervollkommnung zu verdanken **). Er reducirt die Formel de Luc's auf englische Einheiten in folgender Form:

$$b = \frac{99}{0,899} . \log 10\, \beta - 60,804,$$

wo b der veränderliche Kochpunkt an der Fahrenheit'schen Scala, β die entsprechende Barometerhöhe in englischen Zollen ist. Mit der Formel von Laplace verbunden, giebt dieselbe:

$$H = 547,99\, (b - b')\, [1 + (t - 32^0) .\ 0,00222],$$

wo b und b' die Kochpunkte zweier Stationen, H deren Höhenunterschied in englischen Fußen und t die mittlere Temperatur beider Stationen ist.

Wir haben die Umformung dieser Formel in Meter und Grade der hunderttheiligen Scala vorgenommen und erhalten:

$$H = 300^m,6432\, (T - T_1)\, (1 + 0,004\, t),$$

---

*) Poggend. Ann. Bd. LXXX. S. 579; aus Bulletin de la Classe phys. math. de l'acad. de St. Petersb. T. VIII.

**) On the use of the barometric thermometer for the determination of relative heights. Phil. Trans. f. 1846. P. I. p. 121. Phil. mag. T. XXVIII. p. 220. Instit. No. 643. p. 147. Fortschritte der Physik im Jahre 1846 v. Karsten. 1848. S. 86.

wo T und T_1 die Kochpunkte beider Stationen und t die mittlere Temperatur derselben ist.

Christie hat auf 38 Stationen innerhalb der Alpen Beobachtungen angestellt und die berechneten Höhen mit denen verglichen, welche durch andere Hülfsmittel bestimmt worden waren. Die Uebereinstimmung war sehr befriedigend.

H. E.

Höhenmessung, trigonometrische. Die barometrische und thermometrische Methode Höhenmessungen auszuführen gewähren große Bequemlichkeit, indem man schnell zu einem Resultate gelangt, aber — wie aus den entsprechenden Artikeln zu ersehen ist — keine vollständige Genauigkeit. Außerdem verlangen diese Methoden, daß der Ort, dessen Höhe ermittelt werden soll, zugänglich sei, was nicht immer möglich ist. So wird man gezwungen die Höhenmessung auf eine andere Art auszuführen, und dies ist die trigonometrische. Bei der ungeheuren Masse der einzelnen Berge in der Andeskette, sagt A. v. **Humboldt** *), ist leider! nothwendig jede Bestimmung der Höhe über der Meeresfläche aus einer barometrischen und trigonometrischen zusammengesetzt.

Die trigonometrische Höhenmessung gehört in das Fach der praktischen Meßkunst; wir begnügen uns daher hier nur die Idee derselben anzudeuten.

Mit möglichster Sorgfalt mißt man eine Standlinie aus, und beobachtet am besten mittelst eines Theodoliten an den Endpunkten derselben die scheinbare Höhe des auszumessenden Gegenstandes nach Graden, Minuten rc., desgleichen die Horizontalwinkel an beiden Endpunkten, d. h. die Winkel, welche die Verticalebenen, in welchen die Höhenwinkel liegen, mit der Verticalebene der Standlinie bilden. Bedient man sich eines **Borda**'schen Kreises, so mißt man ebenfalls die beiden Höhenwinkel an den Endpunkten der Standlinie und zugleich die geneigten Winkel, welche die Standlinie selbst mit den beiden nach dem zu messenden Punkte gerichteten Visirlinien bildet. Die so gewonnenen Data benutzt man, um nach den Regeln der ebenen Trigonometrie die wahre Höhe des auszumessenden Gegenstandes in Einheiten des gewählten Längenmaßes zu berechnen.

Wegen des Näheren müssen wir hier auf die speciellen Lehrbücher der Geodäsie verweisen, z. B. auf **Grunert**'s Geodäsie. Leipzig 1842.

Ausführlich behandelt diesen Gegenstand **Matzka** in: Archiv der Math. und Physik von Grunert. Bd. XII. S. 1 — 39. Zu vergleichen ist auch: **Grunert**, über trigonometrisches Höhenmessen, mit besonderer Rücksicht auf terrestrische Strahlenbrechung in dem eben angeführten Archiv. Bd. XIX. S. 140 — 157.

Bemerkt sei hier nur noch, daß man, wenigstens bei großen Standlinien, den Einfluß der Krümmung der Erde nicht außer Acht lassen darf, daß man bei Abmessung der Standlinie auch die Temperatur des Maßstabes zu berücksichtigen hat, und daß die terrestrische Strahlenbrechung auf die Winkelmessung einen bedeutenden Einfluß ausübt.

H. E.

Höhlen nennt man größere, bald wagerechte oder geneigte, bald verticale Räume im Innern der Erdkruste, welche gewöhnlich durch eine Oeffnung nach Außen mit der Erdoberfläche in Verbindung stehen. Deutschland — namentlich Würtemberg, der Harz, Thüringen, Franken, Westphalen — Oesterreich, Frankreich, England, Italien, Australien, Amerika haben nicht wenige Höhlen aufzu-

*) Kleinere Schriften. Stuttgart und Tübingen 1853. Bd. I. S. 143.

weisen, und mit jedem Jahre werden bald in diesen, bald in jenen Gegenden neue entdeckt.

Der allgemeinen Form nach lassen sich die Höhlen besonders als Spaltenhöhlen, Gewölbhöhlen und Schlauchhöhlen unterscheiden.

Die Spaltenhöhlen haben die Form von mehr oder weniger weit klaffenden, aber nach oben geschlossenen Spalten und Klüften; sie dehnen sich also zwischen zwei fast parallelen Seitenwänden aus, sind immer schmal, haben aber zuweilen eine bedeutende Erstreckung in die Länge und Tiefe. Eines der ausgezeichnetsten Beispiele liefert die Eldonhöhle im Peak von Derbyshire. Auch gehören hierher die größeren Drusenhöhlen der Erzgänge.

Die Gewölbhöhlen haben die Form gewölb- oder sackähnlicher Weitungen von sehr verschiedenen, aber meist unregelmäßigen Umrissen und bisweilen so bedeutenden Dimensionen, daß die Räume mit großen Sälen oder Kirchen verglichen worden sind. Gewölbhöhlen mit weitem Eingange und von geringer Tiefe nennt man auch wohl Grotten. Die Schlauchhöhlen endlich haben die Form enger, gewundener Kanäle von theils rundlichen, theils winkligen Querschnitten.

Als eine besondere Art hat man die Durchbruchshöhlen unterschieden, welche an beiden Enden zu Tage austreten, so daß man in ihnen durch den Berg oder Felsen hindurch gelangen kann; eine Eigenschaft, die sich weniger auf die Form, als auf das zufällige Vorhandensein zweier Oeffnungen bezieht. Solche Höhlen werden besonders auffallend, wenn sie, bei geradlinigem Verlaufe, in hohen, freistehenden Felsen so gelegen sind, daß man von geeigneten Standpunkten durch sie hindurchsehen kann. So z. B. das Martinsloch im Tschingelhorne, der hohle Stein bei Muggendorf; einige Höhlen in den Granitfelsen der Insel Moskö in den Nordlanden.

Bei weitem die meisten Höhlen bestehen aus einer Combination der oben angegebenen verschiedenen drei Formen, indem mehrere gewölb- oder sackförmige Weitungen hinter einander liegen, welche durch schlauch- oder spaltenförmige Schlünde mit einander in Verbindung stehen, so daß man immer aus einer Weitung durch einen engen Schlund in eine andere Weitung gelangt. Diese Weitungen liegen alle entweder ungefähr in einem und demselben Niveau, oder in verschiedenen Höhen, gleichsam etagen- oder stufenweise über einander, weshalb man bei ihrer Verfolgung immer höher oder tiefer in dem Innern des Berges hinauf- oder hinabsteigen muß. Dabei sind die Verbindungsschlünde der einzelnen Weitungen zuweilen so steil, daß sie nur auf Leitern oder eingehauenen Stufen passirt werden können.

Die Eingänge der Höhlen sind bald weit bald eng, und liegen bisweilen an hohen und steilen, nur schwer zugänglichen Stellen der Thalgehänge, nicht selten nahe dem Gipfel der Berge; manche steigen unmittelbar über dem Meeresspiegel auf, wie bei der Fingalshöhle auf Staffa, und der blauen Grotte auf Capri.

Kalkstein, Dolomit und Gyps sind es vorzüglich, worin Höhlen angetroffen werden; doch finden sie sich auch in Laven und anderen vulkanischen Gesteinen, so wie im Sandsteine und Gletschereise; im sogenannten „Urgebirge" gehören sie zu den Seltenheiten. Mit Rücksicht auf die verschiedenen Formationen sind sie namentlich in nachfolgenden Massen beobachtet worden: im Kalktuff (bei Urach und Seeburg im Würtembergischen); im Grob-

kalk (Höhlen von Lunel bei Montpellier); im Quadersandstein (hier meist als offene Grotten oder „Thore" wie in der sächsischen Schweiz); im Jurakalk (Höhlen der schwäbischen Alp, Adelsberg in Krain, Grotten um Krakau); im Juradolomit (die meisten fränkischen Höhlen, mehrere Grotten Italiens, u. a. die von Velo); im oolitischen Kalkstein (die Grotte von Kirkdale in Yorkshire); im Muschelkalk (die Erdmannshöhle bei Hasel im badenschen Oberlande); im Zechstein (eine merkwürdige Höhle in den Mendip-Bergen in Somersetshire, und die berühmten Mannsfelder Gypsschlotten); im Bergkalk (Höhle von Remouchamps unfern Spaa); im devonischen Systeme (Höhlen des rheinisch-westphälischen Kalkzuges, und die zahlreichen Höhlen Steiermarks); im Grauwackenkalk (die Höhlen von Elbingerode, Rübeland und die Baumannshöhle auf dem Harze); im körnigen Kalk (mehrere Höhlen in den Pyrenäen, so unter andern die von Font-Santo im Uston-Thale und einige am Eingange des Luchon-Thales unfern Cierp, ferner die Grotte von Antiparos und die Jupiter-Grotte auf Naxos).

Von Höhlen in vulkanischen Gesteinen bemerken wir die in den Lavaströmen des Aetna und Hekla; die Trachythöhlen in Peru und Quito, die Grotte am Büdöshegg in Siebenbürgen; die Höhlen im Basalte des Westerwaldes und die Fingalshöhle in dem nämlichen Gestein.

Im Granite der Alpen, namentlich in der Dauphiné, in Savoyen und in der Schweiz finden sich die sogenannten Krystallhöhlen oder Krystallkeller, welche bald rund, bald länglich, mit prächtigen Bergkrystallen besetzt sind; besonders berühmt sind die Krystallhöhlen des Zinkenstockes im berner Oberland, und jene des Vietscherthales und von Natters in Oberwallis, welche letztere Krystalle bis über 3 Fuß im Durchmesser geliefert hat. — Kleine Höhlen im Gneiße erwähnt Humboldt auf dem Fichtelgebirge unweit Wunsiedel; auch Rivière sah eine solche bei St. Vrondière unweit Bourbon-Vendée. Virlet beschrieb eine große Höhle im Glimmerschiefer bei Sillaka auf der griechischen Insel Thermia, welche sehr geräumig und ganz auf ähnliche Weise gestaltet ist, wie die größeren Kalksteinhöhlen. Von Höhlen im Thonschiefer erwähnen wir die von Ballybunian in der Grafschaft Kerry in Irland.

Was die Entstehung der Höhlen betrifft, so pflegte man diese früher meist durch Auswaschung zu erklären; Gebirgswasser, unterirdische Flüsse sollten in alter Zeit das, was die Räume einst erfüllte, hinweggeführt haben. Allein die erste, die ursprüngliche Ursache der Höhlenbildung dürfte, — nimmt man die Wirkungen unterirdisch rinnender, mit Kohlensäure beladener Wasser aus, so wie jene des brandenden Meeres an Uferwänden — in sehr vielen Fällen eine andere gewesen sein. Schon das Mannichfaltige der Gestalten jener unterirdischen Weitungen weiset uns auf verschiedene Systeme von Kräften hin: auf die sich zusammenziehenden Schichten der Erdfeste; auf gewaltsame plötzliche Erschütterungen; auf die Macht elastischer Dämpfe bei Emportreibungen plutonischer Gebilde, und auf minder gewaltthätige, beinahe unmerklich wirksame Ursachen. Wo Einsenkungen der Schichten wahrnehmbar sind, Verschiebungen oder Einstürzungen derselben durch Gebirgsspalten veranlaßt, da scheint das erstere jener Systeme von Kräften gewirkt zu haben. Als Beweise für solchen Ursprung der Höhlen gilt uns die Festigkeit, das Gleichmäßige der Gesteine, welche es höchst zweifelhaft machen, daß in engen Klüften durchziehende Wasser Gewalt genug gehabt hätten, nach und nach Theile derselben loszureißen, aufzulösen und mit sich fortzuführen. Wir

finden in solchen Fällen die Grottenwände scharf abgeschnitten; es sind keine Abrundungen vorhanden, welche für allmäliges Ausspülen zeugten. Wo häufige Zerklüftungen in Felsmassen bemerkt werden, welche das Durchziehen der Wasser begünstigen, bei leichter zerstörbaren Felsarten, in Höhlen, deren Inneres in seiner Form gleichsam das Gepräge erlittener Auswaschungen trägt, da haben wir mit mehr Grund an solche Ursachen, als die Phänomene bedingend, zu glauben. So scheinen nach von Veltheim die Kalk- oder Gypsschlotten durch Wasserströme entstanden, welche bei tiefen Abzugspunkten vielfältigen Schwankungen, was die Menge des Zu- und Abflusses betrifft, unterworfen gewesen sein dürften. Ein, meist zwischen Zechstein und Gyps gelagertes Flötz von Asche (erdigem Mergel) gab hier in der Regel die nächste Veranlassung zu den Auswaschungen. Freiesleben bezog, und mit gutem Grunde, das Entstehen jener Höhlen auf Steinsalzmassen, die im Gypse vorhanden gewesen.

In den stratifizirten Kalkmassen, unter anderen in den devonischen Kalken Steiermarks zeigen sich die Höhlen oft recht augenfällig durch Emporhebung und Zerreißen mehr oder minder ausgedehnter Schichtencomplexe entstanden. In manchen krystallinischen Massen- und Schiefergesteinen sind sie unverkennbar durch Erosion bewirkt worden: so nach Keilhau im Granit der Nordlande in Westfjord; ferner die schon erwähnte Thonschieferhöhle bei Ballybunian, welche nach Ainsworth durch den Wellenschlag des Meeres erzeugt worden ist. Die berühmteste Grotte der Art aber ist die bereits angeführte Fingals-Höhle, deren Entstehung besonders durch den Umstand veranlaßt wurde, daß die sie bildenden basaltischen Säulen gefiedert sind.

Was einige in Griechenland beobachtete Höhlen betrifft, die von Glimmer- und Thonschiefer umschlossen werden, so ist Virlet der Meinung, daß die meisten derselben ursprünglich Spalten gewesen sein dürften, welche in Folge vulkanischer Wirkungen entstanden, und die später zu einer Art von Rauchfängen dienten, durch welche die, aus der innersten Tiefe der Feuerberge sich entwickelnden Dämpfe und Gase hervorbrachen. Diese Dämpfe und Gase, von denen es denkbar, daß solche von einer oder der anderen Säure begleitet gewesen, konnten, unterstützt von der hohen ihnen zustehenden Temperatur, auf die Wände jener Weitungen mehr oder weniger verändernd einwirken. Nimmt man noch spätere und heftigere vulkanische Wirkungen an, Emporhebungen, wodurch Bergketten entstanden, oder bereits vorhandene noch mehr aufwärts getrieben wurden, so ist es möglich, daß manche jener Spalten, zumal die wenig geneigten, den Wassern nach und nach zugänglich geworden sind, und daß diese auf die innere, bereits in höheren oder geringeren Graden angegriffene und zersetzte Oberfläche der Gesteine fortdauernd einwirkten, allmälig Theile derselben wegführten, und so die Spalten zu Höhlen erweiterten.

Die in manchen vulkanischen Gebilden, in Laven, Trachyten enthaltenen Grotten sind zum Theil nichts als colossale Blasenräume, entstanden durch Dampfentwickelungen, durch elastische Macht der Gase, welche die noch weichen Massen durchdrangen, wie die Trachyt-Höhlen von Quito und Peru in den Cordilleren; doch trifft man in diesen Gesteinen auch häufig Spaltenhöhlen, welche durch Contraction der Masse und durch Bersten in Folge gewaltsamer Erschütterungen bewirkt wurden. Die schon erwähnten Krystallhöhlen sind aus der Vereinigung mehrerer

gangartiger Spalten hervorgegangen, über welche durch Umstürzen höher liegender Felsmassen, oder durch andere Ursachen, eine Art von Decke ausgebreitet wurde.

Mit Rücksicht auf besondere physikalische Erscheinungen, oder den materiellen Inhalt der Höhlen spricht man von Dampf- oder Dunsthöhlen, Windhöhlen oder Wetterlöchern, Eishöhlen, Temperaturhöhlen, Wasserhöhlen, Tropfsteinhöhlen, Knochenhöhlen, Schwefelhöhlen, Gypshöhlen, Krystallhöhlen, an welche letztere man noch die Drusenhöhlen der Erzgänge anreihen kann. Doch sind diese Bezeichnungen nicht in einander ausschließender Bedeutung zu nehmen, indem z. B. eine und dieselbe Höhle zugleich Wasserhöhle, Tropfsteinhöhle und Knochenhöhle sein kann.

Zu den Dampf- oder Dunsthöhlen gehört das Nebelloch in der Zips, eine Höhle, welche am Fuße des Magurara-Gebirges beim Dorfe Zdiar sich befindet, und der Nebel ähnliche Dunstsäulen von Zeit zu Zeit entströmen sollen. Eine fünf Klafter hohe und drei Klafter breite Kluft bildet den Eingang, wodurch man in eine bis jetzt nur theilweise erforschte Felsenhalle von fünfzehn Klafter Höhe gelangt, deren Decke mit Tropfsteinen geziert ist. Nach dem Echo von Flintenschüssen zu urtheilen, welches erst nach einigen Minuten aus weiter Ferne wiederhallt, müssen sich hier Klüfte tief ins Innere der Berge hinein erstrecken. — Starke Schwefelwasserstofferhalationen, welche die Luft in eine vibrirende Bewegung versetzen, beobachtet man auch in einer Trachytgrotte des Büdöshegg in Siebenbürgen, die wir nachher bei den Schwefelhöhlen spezieller besprechen wollen.

Die Windhöhlen oder Wetterlöcher sind vorwaltend den höheren Gebirgen eigen und dadurch ausgezeichnet, daß mehr oder minder heftige kalte Luftströmungen aus denselben hervorbrechen. Dem Umstande, daß der Luftzug beim schönen Wetter stärker, beim regnerischen schwächer weht, verdanken die Windhöhlen den Namen Wetterlöcher, und den Ruf untrüglicher Witterungsanzeiger: sie sind indeß gleich vielen Wettergläsern nicht als Barometer, sondern eher als Thermometer und Hygrometer zu betrachten. Die Windhöhlen sind bald Gewölb-, bald Spalten- oder Schlauchhöhlen, und als letztere erscheinen sie namentlich als tief in das Innere der Berge hinabgähnende, meist unzugängliche Abgründe. Sie sind besonders in Italien häufig, so am Monte testaceo zu Rom, auf der Insel Ischia, am Hügel bei San Marino, im Monte Eolo bei Terni im Kirchenstaat, bei Chiavenna und bei Caprino unweit Lugano.

Die bekannteste und bemerkenswertheste ist wohl die Höhle des Monte Eolo, deren Eingang ein altes, verfallenes Thor verschließt, durch dessen Spalten der Wind mit großem Getöse herausdringt. Wird das Thor geöffnet, so hört das Brausen auf und der Wind bläst minder heftig. Die Höhle ist von großer Weite und zieht sich abschüssig in die Tiefe des Felsen hinein. Große Massen, die an der Decke hangen, und jeden Augenblick herabzustürzen drohen, erfüllen die Seele des Beobachters beim ersten Eintritte mit Grausen. Die eigentliche Windgrotte ist im Hintergrunde dieser ersten Höhle, aus welcher ein besonderer, nicht allzubreiter Eingang zu ihr führt. Der Engländer Matthiews hat sie untersucht. Bei geöffnetem Thore am vorderen Eingange der ersten Höhle war der Wind so heftig, daß die Fackeln auslöschten. Matthiews ließ sich einen Strick um den Leib binden, das Thor verschließen und fand nun den Wind weniger heftig, so

daß die Fackel fortbrannte und er seinen Weg nach dem Innern der Kluft antreten konnte. Der Führer mußte dabei das andere Ende des Strickes in der Hand behalten. Er fand, daß die Wände aus einem dichten Kalkstein bestanden, der an mehreren Stellen mit Tropfstein überzogen war. Dieser zeigte einen lebhaften Glanz, war rein und durchsichtig, zuweilen mit einem weißen Staube bedeckt. Verschiedene steile Abhänge und Tiefen, die Matthiews antraf, wagte er nicht zu untersuchen. Wahrscheinlich stehen sie alle zusammen in Verbindung. Einige Bewohner der nächstgelegenen Landhäuser haben den aus dem Berge strömenden Wind, welcher gerade während der größten Sommerhitze am kältesten ist, zur Abkühlung der Zimmer benutzt. Es sind nämlich in den Zimmern Gipsköpfe mit weitgeöffneten Rachen angebracht, welche mit dem Aeolsberge durch Röhren in Verbindung stehen, und aus denen daher der kalte Luftstrom in das Zimmer bläst. Durch Hähne wird je nach Bedürfniß der eindringende kalte Luftstrom abgeschlossen oder zugelassen. Während im Sommer die kalte Luft aus dem Berge heraus bläst, bemerkt man, daß im Winter die Luft in die Höhle hinein zieht.

Im eigentlichen Sinne des Wortes Windlöcher, d. h. Stellen, wo durch Ritze und andere unscheinbare Oeffnungen während des Sommers ein eiskalter Wind aus dem Boden hervordringt, sind namentlich in den Schweizer-Gebirgen häufig. Die Gebirgsbewohner bauen an solchen Punkten Hüttchen auf, um darin Milch und Fleisch vor Säuerung und Fäulniß zu schützen. Zum Beweise, wie häufig diese Erscheinung in der Nähe des Vierwaldstättersees vorkommt, bemerken wir, daß es oberhalb Seelisberg unzählige kleine Windhöhlen und 11 jener Gemeinde zugehörige Milchhäuser giebt. Auf der Alpe Emmaten sind 10 solche Milchkeller errichtet, und im Isenthal, in der Musenalp, am Eingange des Kleinthals im Mättli, im Schächenthal und vielen anderen Orten sind dieselben in größter Anzahl vorhanden.

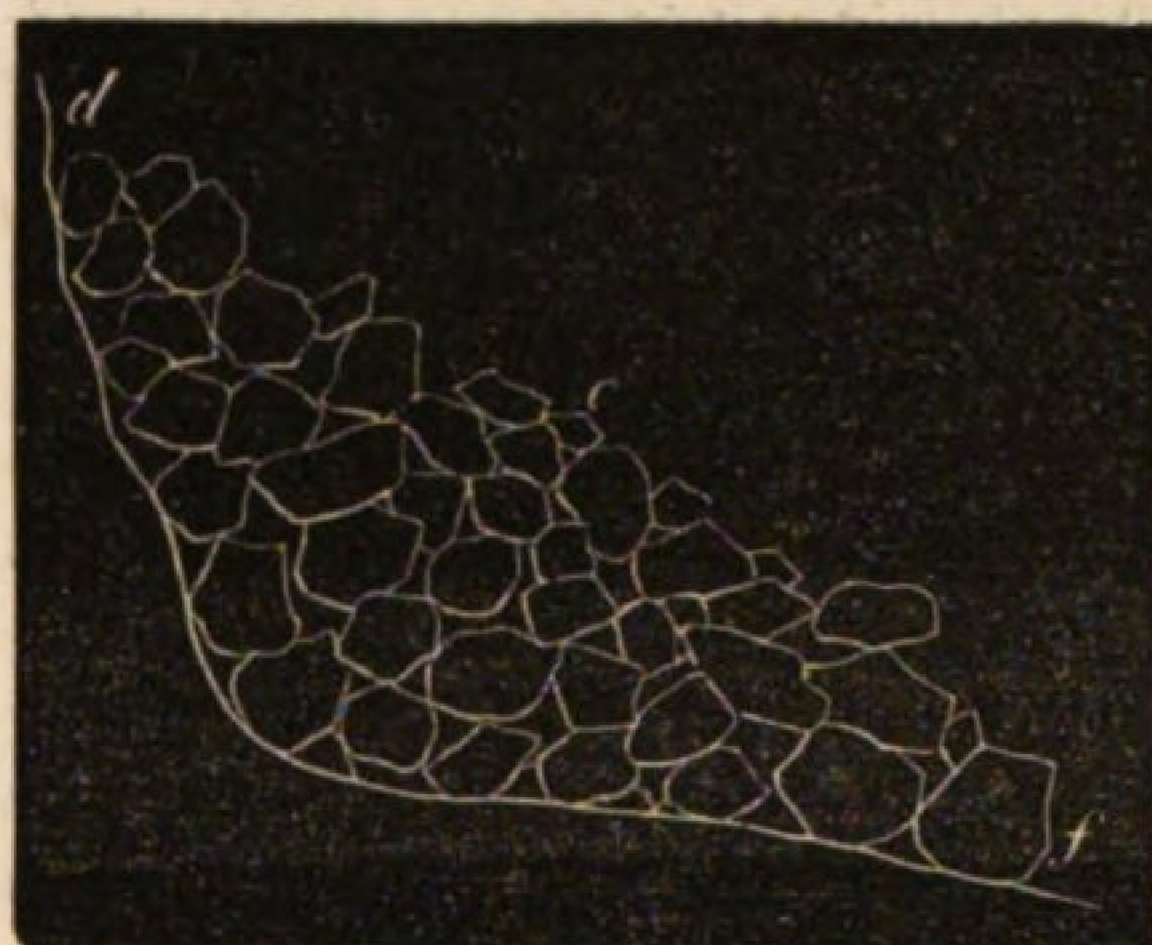
An allen diesen Orten trifft man die Windlöcher am Fuße einer mehr oder weniger hohen Schutthalde an, die sich meistens an eine steile Felswand anlehnt und von deren Verwitterung herrührt. Das Gestein hat in dieser Beziehung keinen Einfluß; sie finden sich an den Granit-, Kalk- und Nagelfluhbergen. Man erkennt die Stellen, wo sich die Windlöcher befinden, leicht an dem sparsamen Pflanzenwuchse; der Boden ist um die Mündung herum meistens mit Moos bekleidet, das ein schwärzliches Aussehen hat, und nur leicht aufliegt. Die Milchhäuschen werden mit der Rückseite in die Felstrümmer hineingebaut, so daß aus dem Bergabhang selbst oder aus den Zwischenräumen der vor sie gestellten mörtellosen Mauer die kalte Luft in das Innere tritt.

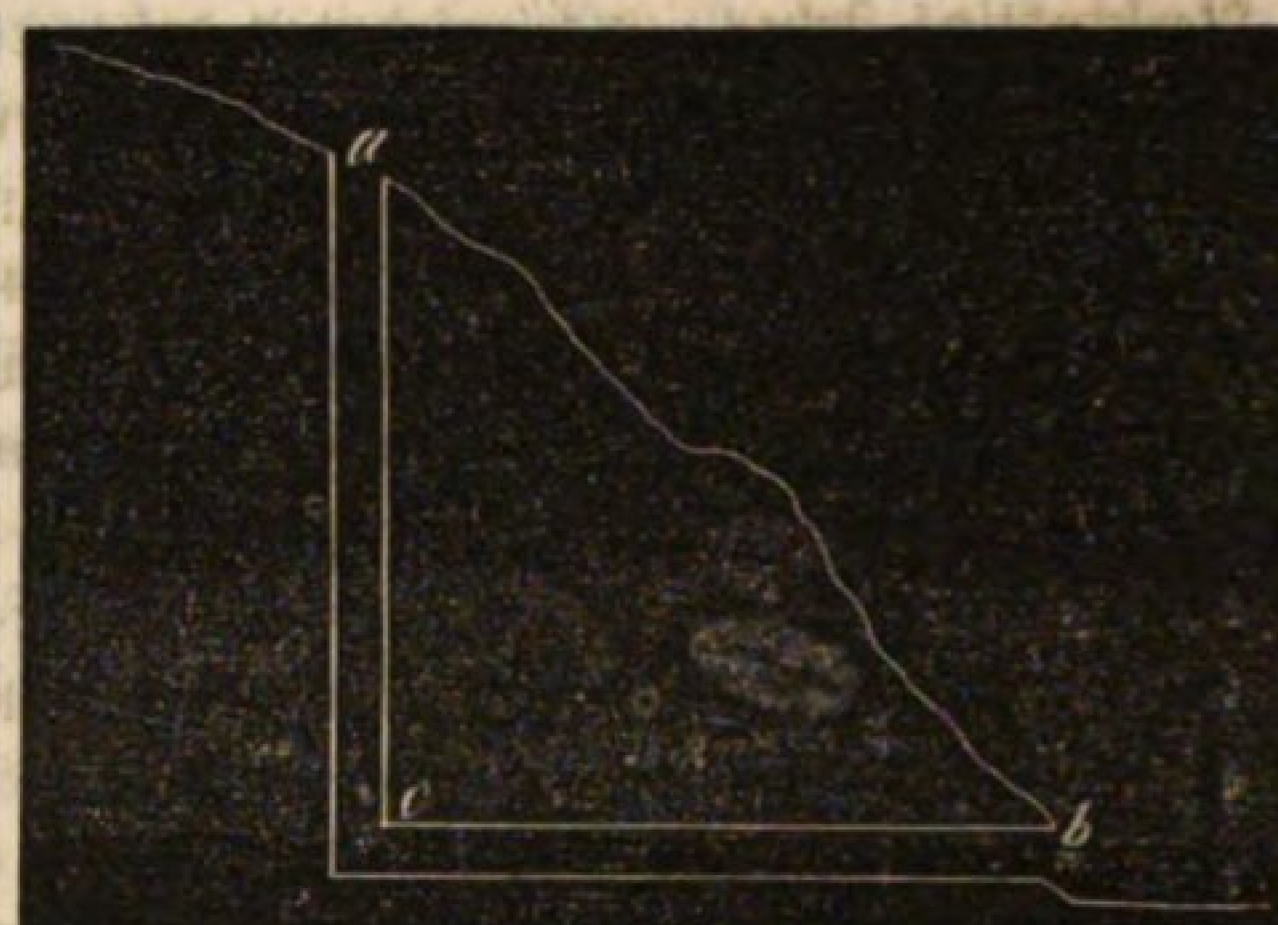
Zur Erklärung der bisher bemerkten Luftströmungen führen wir die Resultate der Forschungen zweier Genfer Physiker Saussure und Pictet an, halten es aber für zweckmäßig, vorher eine Thatsache in Erinnerung zu bringen, die hierbei mit in Betracht kommt.

Die Oberfläche der Erde ist, so wie die auf ihr ruhende Luftschicht, wegen der Einwirkungen der Sonnenstrahlen einem täglichen und jährlichen Temperaturwechsel unterworfen. In einer gewissen Tiefe aber, die zu etwa 60 Fuß bestimmt worden ist, und wohin weder das Sonnenlicht seinen Einfluß erstreckt, noch das Regen- und Schneewasser dringt, herrscht Jahr aus Jahr ein ganz dieselbe Temperatur, die der sogenannten Mittleren des Ortes entspricht. Unterhalb dieser Schicht nimmt die Temperatur der Erde nach dem Innern zu. Die mittlere

Temperatur nun, die auch die aus einer bedeutenden Tiefe hervortretenden Quellen zeigen, ist natürlich nach der geographischen Lage und der Höhe der Orte verschieden, und nördliche oder hochgelegene Gegenden haben eine tiefere mittlere Temperatur, als südliche oder tiefgelegene. So beträgt die mittlere Temperatur von Zürich ungefähr + 7° R. und die stärksten Quellen der Stadt besitzen da, wo sie zu Tage kommen, genau diese Temperatur. Auf dem Gotthardshospiz ist sie fast einen Grad unter Null, zu Mailand + 10½°, zu Petersburg weniger als + 4°. Eine Quelle zunächst den Windlöchern zu Seelisberg + 7° R.

Nach dieser Vorbemerkung wenden wir uns nun zur Erklärung der Windhöhlen. Es ist bekannt, daß wenn im Bergbau am Abhange eines Berges ein





senkrechtes Loch (Schacht) zu einer beliebigen Tiefe a c abgesenkt, und unten mit einem horizontal zu Tage führenden (Stolln) c b, in Verbindung gesetzt wird, in diesem Rohre, das einen Winkel im Innern des Berges bildet, ein beständiger Luftzug bemerkt wird. Nehmen wir nämlich an, daß im Berge die Temperatur das ganze Jahr sich gleich bleibe, oder mit anderen Worten, die mittlere Temperatur daselbst herrschend sei, so kühlt sich während der warmen Jahreszeit die im Rohre befindliche Luft an der dann kälteren Erde ab, wird dadurch schwerer als die äußere warme Luft, und fällt unten zur Mündung des Rohres heraus. Andere Luft tritt natürlich an ihre Stelle. Diese erkältet sich bald nach ihrem Eintritt ins Rohr ebenfalls, fällt, während sie durch neue ersetzt wird, auch heraus, und es dauert das Heruntersinken der Luftsäule, mithin der Luftzug so lange fort, als die Wärme der äußern Luft die Wärme der unterirdischen übersteigt. Umgekehrt verhält es sich im Winter, wo die äußere Luft kälter ist als die Wände des Rohres. Während dieser Zeit wird die eingeschlossene Luft eine höhere Temperatur besitzen, als die äußere, und wie in einem erwärmten Schornstein aufwärts steigen, so daß eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung entsteht. Bei der unteren Oeffnung ist jetzt ein Einströmen bemerkbar. Ruhe kann nur dann stattfinden, wenn die Temperatur außerhalb und innerhalb dieselbe ist, was im Frühling und Herbst eintreten muß. Am stärksten wird die Strömung aufwärts und abwärts stattfinden, wenn der Unterschied der Temperatur und des Gewichtes der inneren und äußeren Luft am bedeutendsten ist.

In Uebereinstimmung mit der im Bergbau beobachteten Erscheinung zeigt sich auch wirklich das Verhalten des Luftzuges im Windloche. Die Besitzer der Milchhütten versichern, daß in den heißesten Tagen des Sommers der Wind als

herausströmend, und in den kältesten des Winters als einströmend am fühlbarsten sei. Am Anfang und Ende des Winters sei keine Bewegung bemerkbar. Im Frühlinge, wenn der Boden schneefrei werde, zeige sich anfangs vor der Mündung des Windloches ein lichtgrauer Nebel, und man könne sich durch das Hineinhalten der nassen Hand von dem Herausströmen der Luft überzeugen.

Ganz entsprechend der Voraussetzung eines senkrechten Durchganges ist auch die Beschaffenheit des Gebirges an den Stellen, wo die Windlöcher vorkommen. Wir haben schon bemerkt, daß die Luftzüge in sehr zerklüftetem oder lose über einander liegendem Gesteine, das sich an eine steile Felswand anlehnt, wahrgenommen werden. Es versteht sich, daß wir nicht an ein schachtähnliches Rohr in dieser Schutthalde denken: wir stellen uns vielmehr vor, es bestehen zwischen den Felsblöcken eine unzählige Menge von leeren Räumen, desgleichen eine große Zahl kleiner Verbindungskanäle, die alle zusammen den Gang bilden, der das Entstehen der Erscheinung bedingt. Oben, wo die Schutthalde sich an die Fluh anlagert, bei d ist, wie leicht zu begreifen, an einen luftdichten Schluß nicht zu denken; der Grund aber, weshalb in der Mitte bei e keine Seitenöffnung, hingegen unten an der Schutthalde bei f wieder ein Kanal vorhanden, ist in der Bildung dieser Schutthalden zu finden, indem bei der anfänglichen Verwitterung der Felswand zuerst eine Menge Blöcke sich am Fuße derselben ausbreiten, auf welche dann, wie die vorstehende Zeichnung darstellt, die nachkommenden Stücke mit der flachen Seite sich ziegelartig in einer schiefen Ebene über einander legen, ferner darin, daß die vom Berge herabfallende Erde oder kleinere Theilchen der Steine und Staub die Zwischenräume ausfüllen. Auch bei den eigentlichen Windhöhlen mit weitem Innenraume und nur einer sichtbaren Oeffnung können wir eine ähnliche Communication der Luft annehmen, da sie stets in sehr zerklüfteten Gesteinen auftreten.

Betrachtung verdient nun noch der Umstand, daß bei verschiedenen Windhöhlen die im Sommer herausströmende Luft nicht die mittlere Temperatur des Ortes, sondern eine bedeutend tiefere zeigt, die sich im Laufe des Sommers und sogar innerhalb weniger Tage ändert. So ist z. B. von Dr. Ebel die Temperatur des Windes in den sogenannten Cantinen von Lugano anfangs Juli $2^1/_3{}^0$ R., Ende August $4^1/_2{}^0$ R., Ende Septembers 9^0 R. befunden worden, während die der äußeren Luft im ersten Male 21^0 R., im zweiten 18^0 R., im dritten 16^0 R. betrug. So sind die Seelisberger Löcher den 15. Juli bei hellem Himmel etwas kälter, als den folgenden Tag bei Regenwetter gefunden. Diese unter die mittlere Temperatur herabgehende Erkältung wird durch die Annahme erklärt, daß die Luft während ihres Laufes durch das zerklüftete Gestein oder die Schuttmassen mit dem beständig durch die Erdoberfläche hinabsinkenden Tagewasser in Berührung kommt, welches dann durch sein Verdunsten der durchströmenden Luft Wärme entzieht, und sie erkältet.

Um zu erfahren, wie viel die Erkältung der Luft durch das verdunstende Wasser betrage, bediente sich Saussure folgender Vorrichtung. Er füllte eine etwa 1 Zoll weite Glasröhre mit nassen Steinchen, und trieb vermittelst eines großen Blasebalges die Luft durch. Diese zeigte vor ihrem Eintritte in die Glasröhre eine Temperatur von 18^0 und bei ihrem Austritte nur noch 15^0. Die durch Verdunstung des Wassers hervorgebrachte Erkältung der Luft betrug also 3^0 R. Ein an der Kugel mit nasser Leinwand umwickelter Thermometer, gegen den die Luft getrieben wurde, fiel um 4^0. Wurde aber die Thermometerkugel

mit einem nassen Schwamm umwunden und schnell in der Luft geschwungen, so betrug das Sinken desselben sogar 9°. Die Kugel kommt nämlich auf diese Weise fortwährend in Berührung mit frischer Luft, und diese nimmt mit Begierde die Feuchtigkeit auf. Es ist also dem Gesagten zu Folge durchaus nicht gewagt, wenn man annimmt, daß die Luft, die im Berge eine Temperatur von 5°—7° erhält, durch die Verdunstung des eben so kalten Wassers bis auf den Grad abgekühlt wurde, den wir bei ihrem Herausströmen bemerken. Je feuchter die in den Berg eintretende Luft ist, desto geringer wird natürlich die Verdunstung sein. Noch ehe also das Wetter sich ändert, bemerken die, welche täglich die Hüttchen besuchen, an der geringen Frische des Luftzuges den bevorstehenden Regen, und der Wind ist für sie ein zuverlässiger Wetteranzeiger.

In einigen Milchhütten findet man eine kleinere oder größere Eismasse (Gletsch), welche gegen Ende Sommers wieder wegschmilzt; in anderen Hütten bemerkt man Eis, wenn man einige Steine aus der der Felswand zugekehrten Mauer herausbricht, und mit einem Stocke die Erde aus den Zwischenräumen des Gesteines herausarbeitet. Nach der Versicherung der Hirten friert es im Winter in den Hüttchen lange nicht; Boden und Seitenwände des Hüttchens behalten nämlich noch eine geraume Zeit, während die äußere Luft unter den Gefrierpunkt erkältet ist, eine höhere Temperatur. Friert es aber einmal, so geschieht dies wegen des einwärts gehenden Luftzuges sowohl in dem Hüttchen als in den Klüften an der Mündung des Windloches viel heftiger, und das Hüttchen und Gestein derselben bleibt noch unter dem Gefrierpunkte, während im Frühlinge die äußere Temperatur schon mehrere Grade über Null steht, und der Schnee schon schmilzt. Ja die Kälte in demselben wird noch dadurch erhalten, daß in den meist kühlen Nächten des Frühlings der Zug aufwärts geht, während er zur Tageszeit, wo die Luft vielleicht 6°—7° R. besitzt, wegen des geringen Unterschiedes der inneren und äußeren Wärme, stehen bleibt. Die Folge davon ist, daß das durch die Felsenritze träufelnde und in die Hütte fallende Schneewasser sich in Eis verwandelt und in wenigen Tagen der erwähnte „Gletsch" entsteht, welcher sich, wegen des bald nachher eintretenden abwärtsgehenden kalten Luftzuges, mehrere Monate, oft das ganze Jahr durch, erhält.

Auf ähnliche Weise, wie das Eis in den Windhütten, erzeugt sich auch dasjenige in den eigentlichen Eishöhlen und Eisgrotten. Auch hier rührt das Phänomen nicht von der inneren Kälte der Gebirge her, sondern von den atmosphärischen Einwirkungen; und als bedingende Ursache gilt besonders die hohe Lage der Höhlen, vermöge welcher in kühlerer Jahreszeit mehr Eis entsteht, als in der wärmeren Zeit geschmolzen werden kann. Eine andere, zur Erhaltung gebildeten Eises unerläßliche Bedingung ist die beträchtliche Tiefe solcher Höhlen im Gebirgsinnern: endlich wirken Abwesenheit alles Luftzuges von Außen, Geschütztsein gegen Wärme und feuchte Winde, und die nach N. oder O. gekehrten Eingänge der Grotten. Pictet beschreibt zwei natürliche Eisgrotten, die sich weit unterhalb der Schneelinie befinden. Die eine heißt la Baume (die Balm) und liegt 5 französische Meilen von Besançon, die andere am Juraabhange mit der waadtländischen Seite gegen die Stadt Rolle. Zwei andere Eishöhlen befinden sich in den Bergen des Faucigny, eine am Berge Brezon, in geringer Entfernung südlich von Bonneville, eine andere an der südöstlichen Seite im Reposoirthale bei Cluse.

Die Baume ist 384 Fuß lang, 132′ breit und 60 — 90 Fuß hoch. Ihr Boden, der sich bergeinwärts senkt, ist, einige mit Wasser angefüllte Vertiefungen ausgenommen, ganz mit Eis bedeckt. Im Hintergrunde der Höhle erheben sich mehrere durch Herabfälle oder Wassertropfen gebildete Eispyramiden. Die Verdunstung des Eises erzeugt fast das ganze Jahr hindurch einen Nebel, der im Winter aus der Mündung der Höhle heraustritt. Der Besitzer derselben hat die Beobachtung gemacht, daß, je wärmer der Sommer ist, desto mehr Eis sich in der Grotte befindet. Im Jahre 1727 ließ der Herzog von Levi auf einer Menge Karren, welche täglich kamen, alles Eis aus der Balm herausschaffen; im Jahre 1743, wo sie ein Ingenieur von Besançon besuchte, war sie wieder voll Eis, zum deutlichen Beweise, daß die Ursache des Gefrierens auch in Abwesenheit von Eis vorhanden ist.

Die 2562 franz. Fuß über dem Genfersee erhabene Eishöhle von St. Georges, die während des Sommers die Gegend von Rolle in einem Umkreise von 2 Meilen und wiewohl selten, auch Genf mit Eis versieht, liegt auf einem Absatze der vordersten Jurakette, von der man den ganzen Genfersee und die savoischen Gebirge mit dem Montblanc übersieht. Sie ist 75′ lang, 40′ breit und enthält etwa 1950 Ctr. Eis, welches von dem Pächter derselben in Quaderstücke ausgehauen und in Tragkörben auf Wagen gebracht wird. Auch während des Sommers dauert hier die Eisbildung fort, wie man deutlich daraus sieht, daß Blöcke, die sich berühren, zusammenfrieren. Die Höhle von Brezon liegt 2772 franz. F. über dem Genfersee in einem Steinwalle, aus dem an vielen Stellen kalte Luft herausfährt, am Fuße einer ungeheuren Schutthalde. Ihre Ausdehnung ist gering.

Die Eishöhle im Reposoirthale, vielleicht gegen 4000 F. über dem Genfersee, nicht weit von einer sehr geräumigen Grotte, worin kein Eis gefunden wird, hat einen prachtvollen bogenartigen Eingang von 43′ Weite, und ist in ihrem tieferen Theile ganz mit Eis erfüllt. In dem warmen Jahre 1822, wo sie Pictet besuchte, war anfangs nur Wasser von ziemlicher Tiefe in ihr vorhanden, das sich aber bis zum Juli desselben Jahres in Eis verwandelte.

Zu den schönsten aller bekannten Eisgrotten gehören wohl das sogenannte Schafloch am Thunersee, und die Eishöhle am Brandsteine in der sogenannten Gems in Steiermark, von welcher letzteren wir noch eine Schilderung Sartori's mittheilen. „Je weiter wir hinabkamen, desto interessantere Scenen thaten sich unseren Blicken auf. Auf allen Seiten strömte der Widerschein unserer Lichter von dem Eise zurück, und wie die Augen von dem Scheine derselben geblendet zu werden aufhörten, so stellten sich denselben die Säulen, die Schäfte, die Knäufe, die Pyramiden und die Cylinder dar, die hier von dem Eise gebildet worden. Es ist, als ob man in den Ruinen einer gothischen Kirche wandelte, als ob ein Feenpalast mit funkelnden Sternen vor uns geöffnet worden sei. Hier bildet das Eis eine Aiguille (Nadel), dort einen stumpfen Hügel; hier scheint sich ein Gletscher geformt zu haben, dessen Sprünge und Klüfte den besorgten Wanderer herauf angähnen; dort hat sich das Eis in der schönsten Draperie von einer Höhe herabgelassen, als ob ein Schleier die Geheimnisse der Natur verhüllen sollte. Links und noch weiter im Hintergrunde findet man in lebloser Erstarrung Wasserfälle und Cascaden, die im Augenblicke des heftigsten Sturzes und der schäumendsten Brandung ergriffen und in Eis verwandelt zu sein scheinen. Ganze Eisberge

drängen sich hinter einander vor, und wenn man mit Vorsicht über einen Eishügel, der die vordere Höhle von der hinteren trennt, hinüber geklettert ist, dann erst glaubt man in die Paläste der Najaden oder in die Prunkgemächer des Königs der Gnomen hinabgestiegen zu sein. Wenn man dieser letzten Höhle, die ziemlich tief hineingeht, nahe kommt, sieht man in derselben nichts als das ungewisse Graudunkel, das aus derselben hervordämmert; ist man aber mit einem Lichte hineingetreten, so spielt der Schimmer desselben auf dem glänzenden Eise bald blaue, bald grüne, bald gelbe Farben, und die ganze Höhle scheint entflammt von dem Scheine des Lichtes."

Sogenannte Temperaturhöhlen haben entweder eine der mittleren Temperatur der Umgebung gleiche Wärme, oder übertreffen dieselbe um einige Grad. So zeigte in der Höhle von Caripe, im Mittelpunkte des heißen Erdstriches, 506 Toisen über der Wasserfläche im Golf von Cariaco das hundertgradige Thermometer nach Humboldt 18°,4 bis 18°,9, während die Wärme der äußeren Atmosphäre 16°,2 betrug. Die Wärme einer Grotte unfern Montpellier übertrifft die mittlere dortige Temperatur um mehr als 4 Grad C.; ein Phänomen, das besonders auffallend wird, wenn man den unterirdischen Raum bei kühler Witterung besucht. Zufällige Ursachen scheinen nicht zum Grunde zu liegen. In etwa 1200 Fuß Entfernung von dieser, als Montel'sche bezeichneten, Höhle dringen aus einer Spalte im Kalk, demselben Gestein, welches den Raum einschließt, Wasserdämpfe hervor, welche die nämliche hohe Temperatur zeigen. Beide Erscheinungen, die Luftwärme in der Grotte und jene der Dämpfe haben vielleicht ihren Grund in der nach dem Erdinnern hin zunehmenden Temperatur.

Da, wo heiße Quellen hervorbrechen, beobachtet man nicht selten näher oder entfernter davon heiße Luft oder Dämpfe aus den Gebirgsspalten ausströmen, so bei den berühmten Herkulesbädern von Mehadia an der Militärgrenze; offenbar findet hier die Mittheilung der Wärme an die Luft durch die Quellen statt.

Höhlen, welche tiefe Wasserbehälter in sich fassen, oder durch welche Bäche und Flüsse einen längeren oder kürzeren unterirdischen Lauf nehmen, sind namentlich den zerklüfteten Kalksteingebirgen eigen. Oft bricht daraus nach heftigen und anhaltenden Regengüssen, oder nach starken Schneefällen das Wasser in ungeheuren Quantitäten sehr gewaltsam hervor. Zu den Höhlen, die ein großer Wasserreichthum auszeichnet, gehören besonders die des Karst in Illyrien, welche neuerdings von Dr. A. Schmidl untersucht worden sind. Nach dessen Mittheilungen konnte der Lauf der Recca in der Höhle bei St. Kanzian auf 3000 Fuß, und in der Trebichgrotte bei 498 Fuß verfolgt werden. Durch einen 24 Fuß tiefen Wasserfall in der ersteren, und durch unter den Wasserspiegel herabreichende Felswände in der zweiten, wurde das weitere Vordringen aber gehindert. Um beiläufig einen Begriff von dem ausgedehnten Höhlensystem des Karsts zu geben bemerken wir, daß Schmidl 1850 gegen 8000 Klafter dieses Labyrinthes durchforscht hat, wovon 4000 Klafter bisher ganz unbekannt waren. Aehnliche Höhlen, durch welche die Wasser abgeschlossener Kesselthäler und Seen abgeführt werden, sind in Griechenland die Katabothra: besonders bekannt sind die Katabothra des Kopaischen Sees in Böotien und des Phonias-Sees in Morea.

Zu den in geologischer Beziehung jedenfalls wichtigsten Höhlen sind die Knochen- oder Zoolithen-Höhlen, Cavernes à ossemenls zu rechnen, welche, da sie vorwaltend im Kalkgebirge vorkommen, gemeiniglich zahlreiche

Tropfsteinbildungen enthalten, und in solchen Fällen auch den Namen Tropfsteinhöhlen führen. Diese Tropfsteine oder Stalaktiten werden meist in steter Fortbildung durch das in die Höhlen eindringende Wasser erhalten, indem sich letzteres beim Durchsickern durch die Felsen mit kohlensaurem Kalk sättigt und beim Verdunsten denselben in den Höhlen wieder absetzt, wobei vom Boden der Höhle Säulen erwachsen, und diesen entgegen von der Decke Zapfen und Säulenstöcke gebildet werden, die endlich mit jenen sich vereinigen. Die Größe der Tropfsteine, wie ihre Formen sind höchst vielartig. Reihenweise hängen sie nicht selten über einander, und ihre Menge ist um so größer, je enger die Grotten sind, je weniger die Luft darin freien Umlauf hat. Besonders ausgezeichnet sind die Stalaktiten der Adelsberger Höhle in Illyrien, oft phantastischen Gestalten gleichend, so wie jene der Grotten auf dem Molucken-Eilande Amboina und der Höhle von Cacahuamilpa in Mexico.

Die Kalksteinhöhlen bieten gewöhnlich ein System mehr oder minder großer gewölbter Räume dar, die durch engere, oft senkrecht abfallende Kanäle mit einander verbunden werden. Der Boden ist häufig mit Lagen eines röthlichen, eisenhaltigen Lehmes bedeckt, worin große Mengen von Knochen vorweltlicher Thiere mit Geröllen gemengt vorkommen, und worüber fast immer eine mehr oder minder dicke Decke von Tropfkalk ausgebreitet ist. Meist dringen die Stalaktiten in alle Risse und Zwischenräume der Lager des Knochenthones, und verbinden diesen oft zu einer harten Breccie. Jedenfalls ist es nöthig, um sich von der Anwesenheit von Knochen in einer Höhle zu überzeugen, diesen Fußboden von Tropfsteinen aufzubrechen, und die Knochenlager unter denselben zu suchen. Seine Anwesenheit scheint eine fast wesentliche Bedingung zur Erhaltung der fossilen Knochen zu sein, indem er sie vor dem Zutritt der Luft und vor Verwitterung schützt.

Die Knochen gehören vorzugsweise Raubthieren an, namentlich Bären und Hyänen (Ursus spelaeus und Hyaena spelaea), ferner Dickhäutern, Nagethieren, Wiederkäuern und Vögeln.

Es sind nur äußerst wenige Fälle bekannt, wo man in dem Knochenlehm der Höhlen ganze Skelette gefunden hätte; fast immer liegen die Knochen in der größten Unordnung unter einander: die einzelnen Stücke, welche zu einem Skelette gehören, finden sich selten, oder nie in der Nähe zusammen; Reste der verschiedensten Thiere sind mit einander gemengt. Viele Knochen, namentlich die längeren Röhrenknochen sind zerbrochen, und die frischen Bruchflächen und Splitter beweisen, daß diese Brüche erst nach dem Tode der Thiere stättgehabt haben. Andere sind abgenutzt, gerollt und dadurch zum Theil unkenntlich gemacht.

Ueber die Art und Weise, wie diese Knochenreste in die Höhlen gebracht wurden, herrschen zweierlei Ansichten unter den Geologen. Die einen schließen aus der überwiegenden Anzahl von Hyänen- oder Bärenknochen, daß diese Thiere in den Höhlen gelebt und ihre Beute hineingeschleppt hätten, welche in den Wiederkäuern, Nagern und Dickhäutern bestand. Diese Ansicht gewann um so mehr Beifall, als man in vielen Höhlen wohlerhaltene Excremente, von Hyänen namentlich, antraf, deren Auswürfe ziemlich fest sind. Diese Koprolithen, deren Natur einen weiten Transport durchaus nicht zugelassen hätte, bewiesen augenscheinlich, daß die Thiere, welchen sie angehört, in den Höhlen gelebt hatten. Hierzu kam noch, daß viele von den aufgefundenen Knochen deutliche Spuren von Zahneindrücken zeigten, die, wie es schien, von dem Benagen der Knochen herrührten, und

daß manche Thiere, Fleischfresser namentlich, tiefe, oft geheilte Knochenwunden zeigten, welche offenbar heftige Kämpfe unter den verschiedenen Bewohnern der Höhle beurkundeten. Es schien demnach ziemlich glaublich, daß die Hyänen und Bären in den Höhlen einen bequemen Zufluchtsort fanden, und dort mit zugebrachten Resten von Thieren ihre Jungen nährten.

Auf der anderen Seite bieten die Höhlen im Allgemeinen eine Menge von Verhältnissen, welche durchaus gegen ein solches Zusammenschleppen der Knochen durch die Bewohner der Höhlen sprechen. Von allen Fleischfressern, die darin vorkommen, sind es hauptsächlich nur Hyänen und Bären, welche noch jetzt theilweise in Höhlen leben; sie sind freilich auch in größter Anzahl vorhanden. Die Katzenarten, welche man findet, bewohnten gewiß eben so wenig Höhlen, als die heut lebenden Tiger und Löwen. Aber auch die Höhlenbewohner, Hyänen, Bären und Füchse rc. sind weit davon entfernt ihre Beute in ihre Zufluchtsstätten zu schleppen, und dort sich oder ihre Jungen damit zu nähren. Sie verzehren ihre Beute auf dem Platze oder in einiger Entfernung von dem Orte des Raubes; — haben sie Junge, so schleppen sie die getödteten Thiere oder Stücke derselben bis vor die Höhlen, und die Jungen kommen dann heraus, um außen ihren Schmaus zu halten. In den Zufluchtsstätten der Bären, in den Höhlen der Hyänen Afrikas, wie in denjenigen unserer Füchse, findet man keine Knochenanhäufungen, sondern ein Bett von Blättern, Moos und anderem weichen Material: die Knochen sind im Umkreise der Höhle zerstreut. Ferner leben diese Fleischfresser stets nur einzeln, oder in Familien zusammen, wie die Hyänen; daß verschiedene Arten zusammen leben könnten, ist durchaus unstatthaft. Es giebt nur einige wenige Höhlen, in welchen Hyänenknochen vorwiegen, und von diesen könnte man allenfalls annehmen, daß Hyänen die Cadaver von anderen Fleischfressern ebenfalls in die Höhle geschleppt hätten; in den meisten anderen Höhlen wiegen die Bären vor, und dort ist eine solche Annahme durchaus unthunlich, da Bären keine Leichen angreifen.

Die physische Conformation vieler Höhlen spricht ebenfalls durchaus gegen die Annahme einer Einschleppung der Knochen durch Höhlenbewohner, namentlich da, wo die Höhlen mehrere auf einander folgende Kammern zeigen, die in verschiedenem Niveau liegen und durch oft senkrechte Schlünde communiciren, so daß man jetzt lange Leitern bedarf, um aus einer Kammer in die andere zu klettern. Endlich zeigen offenbar die Gerölle, welche man mit den Knochen gemischt findet, die Lehmablagerungen, in welchen sich die Knochen finden, daß diese fossilen Reste hier durch Wasserströme eingeführt und abgesetzt wurden. Dafür spricht ferner die Abnutzung und Rollung vieler Knochen, ihre Zerbrechung, die gerade die langen und starken Röhrenknochen meist betrifft. Daß unter den Knochen, die in die Höhlen geschwemmt wurden, auch solche waren, welche schon reißende Thiere angenagt hatten, ist nicht zu verwundern, und daß die Höhlen selbst von vielen dieser Raubthiere bewohnt waren, deren Excremente sich mit den eingeführten Knochen mischten, hat ebenfalls nichts Auffallendes. Es ist nur die Einschleppung der Knochen und ihre Anhäufung durch die Raubthiere an den Orten, wo sie jetzt gefunden werden, nicht annehmbar.

Die berühmtesten Knochenhöhlen Deutschlands finden sich besonders im fränkischen Jura, und zwar in dessen mannichfach zerklüfteten Dolomiten, wie die Höhlen von Muggendorf und Gailenreuth; dann im Uebergangskalke des Harzes, so die Baumannshöhle und Bielshöhle, worin überall namentlich Bärenknochen in großer

Anzahl gefunden werden, und deren Individuenzahl sich schon über viele Hunderte beläuft. Auch Westphalen, der schwäbische Jura, Böhmen, Steiermark und Kärnthen besitzen solche Höhlen von größerer oder geringerer Bedeutung.

In Belgien ist namentlich die Provinz Lüttich reich an Höhlen, in welchen ebenfalls die Bärenknochen die große Mehrzahl bilden. In Frankreich findet sich besonders in dem ganzen Zuge des Jura längs der östlichen Grenze bei Besançon eine große Menge von Höhlen, in welchen die Bären vorwiegen, während im Süden in den jurassischen und tertiären Kalken der Umgegend von Montpellier die Bären zwar auch noch das Uebergewicht behalten, aber doch mehr mit Nagern, Wiederkäuern und Dickhäutern gemischt erscheinen. In England bildet die Höhle von Kirkdale in Yorkshire in sofern eine merkwürdige Ausnahme, als darin die Reste von Hyänen weit alle anderen übertreffen. Außer dieser genannten kommen noch in vielen jurassischen und Kohlenkalken Englands Höhlen vor.

Eine Menge Höhlen finden sich in der kalkigen Küstenkette Brasiliens, worin rothe Thonschichten die Reste einer äußerst merkwürdigen Schöpfung führen. Mehr als hundert Arten fossiler Säugethiere sind daraus bekannt geworden, worunter eine große Anzahl Affen, Raubthiere, besonders katzen- und hundeartige Thiere, Nager, Beutelratzen, und namentlich eine große Anzahl Edentaten (zahnlose Säugethiere), während die Dickhäuter verhältnißmäßig gegen die fossilen Faulthiere, Megatheriden und Gürtelthiere selten sind, und auch, Mastodonten und Pferd ausgenommen, nur aus Geschlechtern bestehen, die noch heut in Südamerika leben, nämlich aus Tapies und Pecaris. Auch hat man mehrere Arten von Straußen und anderen Vögeln, so wie Schlangen, Eidechsen, Crokodile und Batrachier in großer Menge darin angetroffen. Wir bemerken endlich, daß auch Neuholland wie überhaupt Australien an mehreren Punkten Knochenhöhlen besitzt, deren fossile Reste höchst eigenthümlich von den gleichzeitig in Amerika und Europa begrabenen Faunen abweichen, und zwar ganz in ähnlicher Weise, wie die jetztlebende Thierschöpfung Neuhollands von derjenigen der übrigen Continente sich auszeichnet, d. h. die fossilen Reste gehören vorwiegend der Klasse der Beutelthiere oder Didelphen an, in welchen man meist noch lebende Geschlechter, aber doch bestimmt von den jetzigen verschiedene Arten erkannt hat.

Von Menschen kommen in Knochenhöhlen Deutschlands, Südfrankreichs, Englands und Schottlands, auch in jenen Brasiliens ganze Skelette und einzelne Gebeine vor, selten gemischt mit den Resten vorweltlicher Thiere, meistens über solchen Anhäufungen liegend: doch befremdet diese Thatsache nicht, wenn man die vielartigen Veranlassungen bedenkt, die Menschen zum Aufenthalte von längerer oder kürzerer Dauer in Grotten bestimmen konnten. Es dürfte nicht uninteressant sein hierbei einige Notizen über Höhlen zu geben, welche von menschlichem Kunstfleiße zeugen, oder von den Menschen zu besonderen Zwecken benutzt wurden. Wir führen vor Allem das Labyrinth von Creta an, welches auf halber Höhe der Vorhügel des Berges Ida, des heutigen Psiloriti, sich befindet. Man tritt in einen etwa dreißig Schritt langen und zwanzig Schritt breiten Raum, dessen Wände von Feuer geschwärzt sind, da wahrscheinlich seit undenklichen Zeiten Hirten hier ihre Zufluchtsstätte und Räuber einen Schlupfwinkel fanden. Drei aus Fels gehauene Pfeiler sondern den Hintergrund, und zeigen, daß Menschenhand der Natur nachgeholfen habe. Vier Thore, eines wie das andere, ungefähr

10 Fuß hoch und 6 Fuß breit, führen durch den Hintergrund in den Felsen ein. Man steht vor dem Eingange ins Labyrinth, in dieses seltsame Gewebe von Gängen und Sälen, dessen ursprüngliche Bestimmung nicht wenige Zweifel erweckte. Zwei jener Thore sind bis oben mit Steinen versetzt, ein drittes zur Hälfte, das vierte frei. Der Ritter Prokesch von Osten, unser Berichterstatter, und sein Begleiter, hatten sechs bewaffnete und mit Fackeln versehene Führer, wovon zwei als Wächter in der Eingangshöhle zurück blieben. Durch einen eingestürzten Gang kriechend, gelangten die Wanderer in einen mächtigen, durch Pfeiler gestützten Saal, ohne Spur irgend eines Gebrauches, zu welchem derselbe gedient. Von hier kehrten sie zurück zum Vereinigungspunkte der Wege, und wählten sodann einen 10 Fuß hohen und 8 Fuß breiten Gang, welcher einer anderen Richtung folgte. Von Zeit zu Zeit führten Gänge bald rechts, bald links, alle von gleicher Höhe und von demselben Maße, so daß sie nicht zu unterscheiden waren; manche standen mit Seitengemächern in Verbindung. Endlich kamen die Reisenden in die, nach ihrer Gestalt „Trapezien" genannten Säle, etwa 20 Fuß hoch, 50 bis 60 Fuß lang und breit, die flachen Decken durch Pfeiler getragen, die glatten, unverkennbare Meißelspuren zeigenden Wände senkrecht, an der Rückseite Stufen, wie die eines Theaters, in Fels gehauen, in der Mitte ein Gesteinsblock als Tisch. An der linken Seite nimmt die Verworrenheit des Labyrinthes zu; die Gänge werden höher und enger, Alles trägt den Ausdruck einer früheren Zeit. Sämmtliche Säle sind wieder mit Gängen verbunden. Das gewaltige, lang hindröhnende Echo, nach einem Pistolenschusse, bewies die weite Ausdehnung der unterirdischen Gewölbe. Dieses Gewebe mannichfaltig sich verschlingender Gänge ist offenbar das Werk der Menschen, wofür die gleichmäßige Arbeit, die Art, wie Wände, Pfeiler, Nischen und Sitze behauen sind, sprechen. Steinbrüche, wie in den bekannten Pariser Katakomben, wurden hier nicht betrieben, da auf jeder Stelle des Berges Ida Material zu Bauten bequemer zu gewinnen war, als in diesen Tiefen. Vielleicht diente dieses mühevolle Werk, dessen Entstehen wohl einige Jahrtausende vor Christus zu setzen ist, als Grabstätte für Könige und andere Volkshäupter.

Bemerkenswerth sind ferner die Höhlentempel in Indien (Delkans). Das Eiland Salsette, in der Präsidentschaft Bombay, besitzt eine der großartigsten von Menschen ausgehauenen Grotten, welche tief ins Gebirge dringt. Am Eingange zeigen sich wilde Felspartien, und dazwischen mißgestaltete Götzenbilder. Die auf halber Höhe des Abhanges gelegene Haupthöhle enthält eine überaus schöne, durch Säulenreihen in 3 Gänge geschiedene Halle; sie hat trefflich ausgeführte Skulpturen, Statuen, Basreliefs aufzuweisen. Die Grotten auf Elephantine gewähren einen gefälligen, obwohl weniger imposanten Eindruck. Lange Säulenreihen verlieren sich in der Dunkelheit, und zwischen ihren Bogen blicken ungeheure Bildwerke aus der Dämmerung hervor. In einem der Bergzüge der westlichen Ghats befinden sich die Höhlen von Karli. Die Pracht ihrer Tempel wird durch jene der von Ellora weit übertroffen. Die nach allen Richtungen durchbrochene Gebirgsreihe enthält viele herrliche Tempel. Kailas gebührt, wegen Größe der Verhältnisse und um des Planes willen, unter allen der Vorzug. Ein freier Raum ist rings um die Grotte gehauen und deren Außenseite überall reich mit Skulpturen bedeckt.

Auch Fresko-Malereien finden sich in indischen Grotten. So

erregen die in der Ajunta-Höhle die Bewunderung Aller, welche sie gesehen haben: sie stellen die Thaten längst dahin geschwundener Geschlechter dar.

Als eine interessante Begräbnißstätte erwähnen wir noch die Mumienhöhle in Mexico. Unfern der Stadt Durango, im nördlichsten Theile der großen Bergebene erstreckt sich von S. nach N. am östlichen Abfall der Cordilleren, ein unangebautes Thal, Bolson de Mapimi genannt. Kühne Ansiedler gründeten hier weit von einander entlegene Niederlassungen, auf denen sie bedeutende Viehheerden unterhalten; auf der Grenze hausende Indianerstämme streifen bis in die Gegend. Vor einigen Jahren bemerkte der Eigenthümer einer solchen „Hacienda" in einem, ihm fast unbekannten Theile seines Gebietes, etwa 100 Stunden von Durango, an einer Bergseite den Eingang zu einer Grotte. Er betrat das Innere; voll Schrecken und sich bekreuzend, eilte der Mann jedoch sogleich wieder ins Freie. Später drangen seine Begleiter mit Fackeln versehen in die Höhle ein und fanden über tausend vollkommen erhaltene Leichname, die in Gruppen vertheilt auf dem Boden umher saßen. Ihre Kleider bestanden aus Spitzenmänteln mit Bändern und Schärpen von verschiedenen buntfarbigen Stoffen. Sie waren geschmückt mit Schnüren kleiner Fruchtkerne und mit aus Knochen gearbeiteten Kügelchen. Ihre Fußbekleidung war aus einer Lianenart geflochten.

Wir kehren zur Betrachtung natürlicher Höhlen zurück, von welchen noch einige ihres eigenthümlichen Inhaltes wegen berücksichtigt zu werden verdienen. Hierher gehören die Schwefelgrotten in vulkanischen Gesteinen. Sie sind meistens von geringer Ausdehnung, und mittelst vulkanischer Thätigkeit durch Zerreißen und Bersten der Gesteinesmassen entstanden, weshalb sie auch vorzüglich in Spaltenform erscheinen. Wir erwähnen als Beleg hierzu die bereits früher angeführten Trachytgrotten des Büdöshegy in Siebenbürgen, deren bedeutendste im Eingange 12 Fuß Weite bei 12 bis 18 Fuß Höhe besitzt, und etwa 21 bis 24 F. in der Tiefe mißt. Am Ende verengt sie sich auf 3 F. Weite und 8 bis 9 F. Höhe, wobei ihr Boden um 6 bis 7 Fuß tiefer liegt als die Sohle des Einganges, und der Zutritt des Tageslichtes bis ins Innerste gestattet ist. In der Umgebung, so wie an mehreren Wandstellen in der Grotte selbst zeigt sich ein reiner schöner Schwefelabsatz, das Product starker Schwefelwasserstofferhalation, welche dem Eintretenden ein sehr empfindlich stechendes Gefühl und nach unten eine auffallende Wärme verursachen, und den Aufenthalt in der Grotte nur so lange gestatten, als man den Athem zurückzuhalten im Stande ist. Wahrscheinlich ist der Gasart auch Kohlensäure beigemengt, worauf wenigstens Quellen in der Nähe hinweisen, die einen ziemlich starken Gehalt daran zu erkennen geben. Neuerdings hat man in der Nähe des Büdöshegy in verschiedenen Einsattlungen und an niedrigen Berglehnen bedeutende Schwefelablagerungen gefunden, die sich von 1 bis 9 Zoll Mächtigkeit unter der Dammerde hinziehen, und einen reichlichen Gewinn in Aussicht stellen.

Gypshöhlen, in Thüringen unter dem Namen Kalkschlotten bekannt, finden sich in den Gypsmassen der Zechsteinformation, und erreichen oft eine ungeheure Ausdehnung. In großen Zügen gehen sie meilenweit unterm Gebirge fort, und sind im Allgemeinen bis auf eine große Höhe mit Wasser angefüllt, die ziemlich constant ist, da der Ueberschuß des Wassers theils tiefer liegenden Schlotten, theils durch Kanäle, die bis zu Tage auslaufen, den Seen und Teichen der Thäler zufließt. Der interessanteste Schlottenzug ist der bei Wimmelburg unweit

Eisleben, welcher früher auf eine Länge von mehreren 1000 Fuß zugänglich war. Der Anblick dieser Gypshöhlen ist ungemein schön: die Wandungen bestehen häufig aus mächtigen Flötzen blendend weißen Alabasters, der kaum durch einzelne braune Stinksteinstreifen unterbrochen wird. Bald sind die Wände völlig eben und glatt, bald treten knollige Massen oder rauhe schiefe Ecken mit prächtigen Krystallgruppen ausgedrust hervor. Die Luft der meisten Schlotten ist mehr oder weniger mit irrespirablem, kohlensaurem Gase gemengt, welches sich aus dem Stinkkalk entwickelt, der stellenweise in Bänken mit dem Gyps wechselt. Im Gefolge dieser Höhlen treten zahlreiche Erdfälle von mannichfaltiger Größe und Form auf, die, wenn sie mehr oder weniger mit Wasser erfüllt sind, in Thüringen Sooleiher genannt werden. Diese Wasserbecken erreichen zuweilen den Umfang kleiner Seen, wovon die beiden Seen bei Eisleben, der süße See und der salzige See ein treffendes Beispiel geben.

Ueber die Bergkrystallhöhlen haben wir bereits früher gesprochen. Drusenhöhlen nennt man Räume in den Erzgangmassen, deren innere Wandungen ganz mit Krystallen verschiedener Fossilien ausgekleidet sind. Sie erscheinen von sehr wechselndem Umfange und liegen allermeist in der Mitte des Gangraumes. Die verbreitetsten Mineralien, welche in den Drusenhöhlen auftreten, sind Quarz, Kalkspath, Flußspath, Schwerspath, Schwefelkies, Fahlerz, Bleiglanz, Kupferkies, Grauspießglanzerz, Arsenikkies, Blenden. Als eine Modification dieser Höhlen kann man noch die „Gangräume" anführen, womit der Bergmann die nicht von Gangmasse erfüllten leeren Stellen innerhalb der Gänge bezeichnet. Werner beschreibt einen leeren Gangraum von 88 Fuß Länge und 72 F. Breite und 96 Fuß Höhe, der auf dem Vereinigungspunkte des Andreasganges mit anderen im Felde von Hohe Tanne bei Joachimsthal eröffnet wurde.

Anhangsweise dieser Betrachtung der Höhlen und Grotten wollen wir noch gewisser beachtungswerther Erscheinungen gedenken, die man als geologische Orgeln, — Erdpfeifen, natürliche Brunnen oder Schachte, Orgues géologiques, Puits naturels, Aerde-pypen — bezeichnet. Es sind cylindrische Höhlungen oder Röhren, rundliche oder kegelartig gestaltete Löcher von einigen Zollen bis zu 10 bis 12 Fuß Durchmesser, und von einer bisweilen 200 Fuß und darüber messenden Tiefe. Man kennt sie besonders in dem weichen tuffähnlichen Kreidekalkstein des Petersberges bei Mastricht und im Grobkalke der Umgegend von Paris, wo sie theils senkrecht, theils auch in etwas geneigter Richtung die Bänke durchsetzen. Die Wände dieser Höhlungen sind uneben, höckerig, mit einem Kalksinterüberzuge bekleidet. Nie trifft man sie leer; im Petersberge bei Mastricht zeigen sie sich sämmtlich mit Grus und Sand, oder mit einem Gemenge aus Dammerde und Geröllen erfüllt; hin und wieder wurden auch Säugethierknochen, von noch lebenden Gattungen abstammend, darin gefunden. Ihre Bildungsweise ist noch nicht genügend erklärt. Neuerdings bringt Nöggerath das Phänomen in Zusammenhang mit dem Aufsteigen von Thermalquellen, indem nämlich durch Steinbrucharbeiten im devonischen Kalke bei Burtscheid ähnliche Höhlungen blosgelegt wurden, aus welchen heiße Wasser zu Tage traten, deren Dämpfe und Gase, vielleicht auch deren mechanischer Druck jene Röhren gebildet hatten.

Literatur. Wir beschränken uns hier auf die Angaben der wichtigsten Quellen für die Höhlenkunde. Ueber die allgemeinen Verhältnisse verbreiten sich die meisten geologischen Lehrbücher, von welchen wir namentlich anführen:

C. C. v. Leonhard, Geologie oder Naturgeschichte der Erde, auf allgemein faßliche Weise bearbeitet; 5 Bde. Stuttgart 1836—1844. — Derselbe, Lehrbuch der Geognosie und Geologie, 2. Aufl. Stuttg. 1846. — F. A. Walchner, Handbuch der Geognosie, 2. Aufl. Karlsruhe 1846. — C. F. Naumann, Lehrbuch der Geognosie, Leipzig 1850. — Specielle Mittheilungen enthalten: J. C. Freiesleben, Geognostische Arbeiten, Freiberg 1809 (Bd. II.). — Goldfuß, die Umgebungen von Muggendorf, Erlangen 1810. — A. v. Humboldt, Reise in die Aequinoctialgegenden des neuen Continents, Stuttgart und Tübingen 1818—1827. (Th. II.). — Buckland, Reliquiae diluvianae, London 1823. — J. G. Sommer, Physikalische Beschreibung der festen Oberfläche des Erdkörpers, 2. Aufl. Prag 1828. — Bezüglich der Knochenhöhlen sind hervorzuheben: G. Cuvier, Discours sur les révolutions de la surface du globe et sur les changemens qu'elles ont produits dans le règne animal, 6. edit. Paris 1830; auch deutsch bearbeitet von Nöggerath, Bonn 1830. (Bd. II.) — H. v. Meyer, Palaeologica zur Geschichte der Erde und ihrer Geschöpfe, Frankfurt a. M. 1832. — Marcel de Serres, Essai sur les cavernes à ossements et sur les causes, qui les y ont accumulés, 3. edit. Paris. 1838. — H. Bronn, Lethaea geognostica, 2 Thle. 1838. (S. 828.) — C. Vogt, Lehrbuch der Geologie und Petrefactenkunde, 2 Bde. Braunschweig 1846—47.

Bemerkungen über die Wetterlöcher und natürlichen Eisgrotten in den Schweizer Alpen, auf Anordnung der naturforschenden Gesellschaft in Zürich gedruckt, 1839.

Literarische Nachweisungen über die in neuer Zeit entdeckten Höhlen und darüber angestellte Untersuchungen geben besonders: C. v. Leonhard's und H. Bronn's Neue Jahrbücher für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefactenkunde; so wie C. v. Leonhard's Taschenbuch für Freunde der Geologie, Stuttgart 1845—46. — Eine sehr gute Zusammenstellung der bekannten Thatsachen über die sogenannten natürlichen Schächte oder geologische Orgeln, nebst neuen Beobachtungen über solche Bildungen im Kalkstein von Burtscheid gab Nöggerath im Neuen Jahrbuch für Min. u. Geog., 1845. (S. 511.) A.

Höhrauch — Höhen-, Heer-, Heide-, Haar*)-, Land-, Sonnen-, Moorrauch — nennt man einen trockenen Nebel, der zeitweise in der Atmosphäre auftritt. Das Blau des wolkenlosen Himmels nimmt eine eigenthümlich schmutzig-graue Färbung an, die in der Höhe von einigen Graden über dem Horizont dunkler wird und in ein schmutziges Rothbraun übergeht, so daß rings um den Horizont ein mehr oder weniger scharf begrenzter Ring wahrgenommen wird. Entfernte Gegenstände — Thürme, Bäume, Berge — erscheinen undeutlich, wie mit einem blauen Schleier bedeckt. Das Bild der Sonne erblicken wir zwar gleichfalls mehr oder weniger hellglänzend, aber nichts desto weniger ist es selbst bei höherem Stande matt, bläulich-weiß, am häufigsten rothbraun; die Schatten der Gegenstände auf der Erde sind in Folge des matten Lichtes nur schwach begrenzt. Je mehr sich die Sonne dem Horizont nähert, um so blutrother wird die Farbe; mit Leichtigkeit kann man in die Sonnenscheibe hineinsehen und das

*) Haaren nennt man die in der Nähe von Niederungen und Moorgegenden gelegenen Anhöhen. Vergl. Finke, der Moorrauch in Westphalen. Lingen 1825. S. 42.

von ihr ausgehende Licht wird auf seinem Wege zur Erde so geschwächt, daß die Sonne oft nicht mehr zu sehen ist, selbst wenn sie noch nicht den Horizont erreicht hat. Mitunter verschwindet nur der untere Rand, während der obere Theil noch vollkommen scharf begrenzt mit blutrother Farbe sichtbar ist. Ganz besonders lästig wird dieser Nebel durch einen eigenthümlichen Geruch, der lebhaft an Rauch erinnert.

Am häufigsten tritt diese Erscheinung im nordwestlichen Deutschland — Hannover, Westphalen, Niederrhein — und in Holland während der Monate Mai, Juni und Juli auf. Von hieraus verbreiten sich die trockenen Nebel mehr oder weniger weit über die angrenzenden Länder. Uebrigens haben die immer häufiger werdenden Beobachtungen der Atmosphäre gelehrt, daß es keinen Theil des Festlandes der Erde mehr giebt, an welchem nicht dieser eigenthümliche Nebel beobachtet wäre. So häufig er auch an einzelnen localen Stellen auftritt, so ist das Vorkommen auf sehr weiten Gebieten doch ein seltenes. Am meisten Aufsehen erregte der Höhenrauch von 1783, der sich über ganz Europa bis Syrien und Nordafrika ausbreitete, das adriatische und mittelländische Meer und bis 50 Meilen vom Lande auch den atlantischen Ocean bedeckte. An einigen Tagen erstreckte er sich bis zu einer Höhe von 6 bis 10,000 Fuß, so daß er den St. Gotthard, Salève, Ventoux und die Alpen der Dauphiné dem Blicke entzog, während an anderen die Spitzen der Berge über ihn hervorragten. In Kopenhagen beobachtete man den Nebel zuerst am 24. Mai — und zuletzt — am 26. September. Während dieses Zeitraumes war die Stärke des Nebels schwankend, ja er verschwand sogar abwechselnd; vom 18. Juni bis Ende Juli erlangte die Erscheinung Beständigkeit, die Dicke des Nebels nahm zu, so daß selbst heftige Gewitter und Stürme nicht im Stande waren ihn zu zerstreuen.

Außer den allgemeinen, bereits angegebenen Eigenschaften, werden noch zahlreiche, jedoch nicht immer verbürgte Erscheinungen im Gefolge des Nebels aufgeführt. So eine unglaubliche Dürre und große Wärme, die ein vorzügliches Weinjahr bewirkte, während andererseits die Vegetation auf großen Strecken bedeutend litt, aber wohl nicht, wie man glaubte, durch die schädlichen Beimengungen des Nebels, denn dergleichen treten auch ohne Höhenrauch auf. Ganz vereinzelt steht eine Beobachtung, die man in der Nacht zum 20. Juli zu Bramby in Kent *) gemacht haben wollte. Bei einem heftigen Gewitter soll ein Blitz den Nebel entzündet haben, der nun mit einem hellen und weißen Lichte so leuchtete, daß man dabei lesen konnte.

Alle diese Umstände, so wie gleichzeitige gewaltige vulkanische Ausbrüche und Erdbeben auf Island und in Calabrien setzten die Gemüther in Schrecken; die Aufmerksamkeit wurde auf das Höchste gespannt und in Folge dessen erschienen eine Menge von Schriften und Notizen in öffentlichen Blättern, von denen man ein sehr vollständiges Verzeichniß in der 1. Abtheilung des VII. Bandes der neuen Bearbeitung von Gehler's physikalischem Wörterbuche findet. Gleichzeitig forschte man in den Geschichtsbüchern nach ähnlichen Erscheinungen. Schon Theophanes und andere ältere Schriftsteller führen einen allgemein verbreiteten, die Sonne verdunkelnden röthlichen Nebel aus dem 7. Jahre der Regierung Justinian's (526)

---

*) Neue Schr. d. Berl. naturf. Freunde. Bd. III. S. 141.

an. Aus den folgenden Jahrhunderten sind bemerkenswerth die Jahre 1652, 1721, 1729 und 1764.

Auch später zeigte sich der Höhenrauch in weiter Ausdehnung; so 1821 bis 1826, 1831 und 1834. Besondere Aufmerksamkeit erregte die Erscheinung 1831. Im August wurde ein solcher trockener Nebel während einer Zeitdauer von 14 Tagen nach und nach in Afrika, Südrußland, Frankreich, New-York und auf den Virginsinseln beobachtet. In dem sehr heißen Jahre 1834 trat der Nebel sehr stark am 23. Mai auf der Victorshöhe im Harz auf; an demselben Tage gelangte er mit einem ziemlich heftigen Nordwinde nach Basel und am 25. bei heftigem Nord-Ost-Winde nach Orleans; während dieser ganzen Zeit zeigte er sich um Münster sehr stark. Rechnen wir zu diesem ausgedehnteren Auftreten noch alle mehr vereinzelten Fälle, so ist die Erscheinung ziemlich häufig.

Der Hauptsitz ist die bereits angegebene Gegend; doch fehlt ein solcher Nebel auch anderswo nicht ganz. In England tritt er nur selten auf. Am 18. August 1821 zog er über ganz England von Norden nach Süden; die Sonne konnte man mit bloßen Augen ansehen; sie erschien zugleich so weiß und seidenartig, daß die Landleute sie für einen Luftballon hielten. Seltner zeigte sich der Höhenrauch im südlichen und östlichen Europa. Barrow erzählt *), daß die Insel Madeira fast unausgesetzt in eine dünnschwarze Wolke gehüllt erscheint, welche um Mittag wie ein lockeres Vlies über den Gipfeln der Berge schwebt, gegen Abend sich tiefer herabsenkt und zur Nacht Stadt und Umgegend einhüllt.

So oft nun diese Erscheinung auch beobachtet worden ist, so ist man selbst heute noch nicht über die Ursache derselben im Reinen. Die außerordentlichen Umstände von 1783 führten bei dem damaligen Zustande der Wissenschaft zu der Annahme, daß ungewöhnliche Erscheinungen auch ungewöhnliche Ursachen hätten. Im Allgemeinen sollte Elektricität die trockenen Nebel verursacht haben, wie aber, darüber gingen die Meinungen aus einander. Nach Lalande sollte die große Sommerhitze nach einem feuchten Winter eine große Menge von Elektricität entwickelt haben; nach Cotta waren es mineralische Dünste und Elektricität, die in Folge der großen Hitze und vielen Erdbeben aus den Bergen emporstiegen; nach Maret und Castelli waren es wieder Wasserdämpfe, die mit Elektricität beladen aus dem Inneren der Erde emporbrangen, und nach Bertholon war es ein Ausfluß von angehäufter Elektricität selbst, welcher die Dünste mit empor hob. Woher aber diese reiche Elektricitätsentwickelung stammte, darüber wußte Niemand Aufschluß zu geben. Ueberdies zeigten directe Beobachtungen von Hammer, daß die Elektricität der Luft keinesweges reichlicher vorhanden war, als zu anderen Zeiten; ja an mehreren Orten traten die Gewitter nur äußerst sparsam auf. — Noch bis in die neueste Zeit hinein hielt man an dieser Hypothese fest, ohne aber den geringsten Aufschluß geben zu können. Biot brachte die Erscheinung von 1783 in Zusammenhang mit dem Nordlichte **), dessen Materie der Nebel sein sollte und doch zeigte sich nicht eines dieser prachtvollen Schauspiele in dieser Zeit. Nach Anderen stammt die Nebelmaterie, wenigstens zeitweise, aus dem Weltenraume; sie halten sie für ähnlich mit Kometenschweifen und Sternschnuppen ***).

*) Reisen, übersetzt von Ehrmann. Weimar 1803.

**) Gilb. Ann. Bd. LXVII. S. 183.

***) Kastner, Handb. d. Meteor. Th. II. S. 47.

Von den letzteren haben wir durchaus keine Kenntnisse und so fehlen auch alle Beweise. Besonders auch Chladni *) erklärte den schwarzen Nebel, der 1819 in Nordamerika auftrat, aus fein zertheilten Massen von derselben Beschaffenheit bestehend, wie die, welche die Meteorsteine bilden.

Das häufige Auftreten des Höhenrauches in einer bestimmten Gegend unseres Vaterlandes führt uns zu näher liegenden und natürlicheren Ursachen, so daß wir alle schwindelnden Hypothesen sehr gut entbehren können. In den benachbarten Gauen — Ostfriesland — erfordert der Moorboden eine eigene Cultur. Im Herbst wird die Oberfläche umgehackt; die trockenen Schollen werden dann im Mai angezündet und hier bemüht man sich geflissentlich die helle Flamme zu ersticken, so daß Rauch und Qualm in Unmassen producirt werden. Häufig nimmt man das Anbrennen auch im Herbst zwischen der Ernte und der Einsaat der Winterfrüchte vor. Die Menge des in jenen Gegenden Verbrennenden schätzt man jährlich auf 1800 Millionen Pfund. Vielfache Erfahrungen zeigen, daß Höhenrauch und Moorbrennen in Beziehung mit einander stehen. So kommt der Wind jedesmal aus dieser Gegend, wenn der Höhenrauch auftritt; ja man hat sogar das Vorschreiten der Nebelmassen von den Mooren her, deutlich beobachtet. Treten jedoch zu dieser Zeit anhaltende Landregen auf, so giebt es keinen Höhenrauch, trotz der Moorbrände, weil der Regen den Rauch verschluckt und so die Atmosphäre reinigt. In neuerer Zeit sind hierüber viele Beobachtungen angestellt, die in folgenden Schriften zu finden sind: L. L. Finke, naturhistorische Bemerkungen, betreffend eine auf vieljährige Erfahrungen sich stützende Beschreibung des Moordampfes in Westphalen ꝛc. Hannover 1820. Derselbe, der Moorrauch in Westphalen, ein Beitrag zur Meteorologie. Lingen 1825. Arends, Abhandlung vom Rasen- und vom Moorbrennen. Hannover 1826. Egen, der Haarrauch. Essen 1836.

In ähnlichen Vorgängen haben wir auch das Auftreten des Höhenrauches in anderen, weit entfernten Gegenden zu suchen. Erreicht die Erscheinung eine besonders große Ausdehnung, so ist die Jahreszeit eine überaus heiße und hier vielfach Gelegenheit zu weitgreifenden Bränden gegeben. Besonders ist dies vom Jahre 1834 nachgewiesen. Gegen Ende Mai brannte das Dachauer Moos in Baiern 8 Fuß tief und daher selbst unter den Wassergräben fort; zur selben Zeit geriethen auch die ausgedehnten Moore von Hettingen und Botte im Münsterschen und das Winter-Moor im Hannöverschen in Brand. Die anhaltende Dürre veranlaßte und begünstigte außerdem noch zahlreiche Brände dieser Art, theils Wald-, theils Moorbrände, die auf ausgedehnten Flächen in der Mark, Preußen, Litthauen, Schlesien, Schweden und Rußland stattfanden. Zum Theil war in diesen Gegenden der Höhenrauch unbekannt oder doch eine seltene Erscheinung, dessen ungeachtet stimmen alle Berichte über den Zustand der Atmosphäre zur Zeit der großen Waldbrände genau mit denen über den Höhenrauch überein.

Darauf leitet auch schon ein eigenthümlicher Zustand unserer Atmosphäre zu Herbstzeiten; herrscht in der Luft eine große Trockenheit vor und ist der Himmel wolkenlos, so ist die Luft doch oft wenig durchsichtig, so daß entfernte Gegenstände wie durch einen Nebelschleier verhüllt erscheinen. Und gerade zu dieser Zeit werden

---

*) Gilb. Ann. Bd. LXVII. S. 218.

auf den Aeckern Unkraut und andere werthlose Pflanzen in großen Mengen verbrannt. Aehnliche Nebelwolken sehen wir auch über den volkreichen Städten lagern und oft beobachtet man hier, besonders da, wo Torf, Braun- und Steinkohlen gebrannt werden, genau denselben Geruch, wie ihn der Höhenrauch zeigt. Ja Muncke versichert sogar, daß die Sonne in London durch solche Rauchwolken verschleiert oft genau denselben Anblick dargeboten habe wie seinen deutlichen Erinnerungen nach, 1783. Bedenken wir nun, daß ein Abbrennen der Moore und Haiden, um sie für die Cultur ergiebig zu machen, auf weiten Strecken und in den verschiedensten Gegenden stattfindet, daß oft auch der Wind bedeutende Mengen von Staub in die Luft emporwirbeln kann, wofür die eigentliche Beschaffenheit der Atmosphäre in der Wüste während der heißen Jahreszeit spricht, so sind hierin hinreichend Ursachen gegeben und der Höhenrauch erklärt, ohne zu mystischen Hypothesen seine Zuflucht zu nehmen. Der Zusammenhang beider wird noch wahrscheinlicher, wenn wir eine ähnliche Erscheinung in Nordamerika genauer betrachten, die dort namentlich in den dreißiger Jahren große Aufmerksamkeit erregte *).

Es ist dies der sogenannte Indianersommer. Alljährlich zu Ende October und im November nimmt die Atmosphäre in einer großen Ausdehnung — zwischen dem oberen See bis Jefferson Banicks (Missuri) und noch südlicher; nach Osten bis New-England und Ober-Canada hin — ein getrübtes, schwach nebliges Ansehen an; der Himmel zeigt bei einer eigenthümlich matten Färbung eine auffallende Röthe; es herrscht große Trockenheit — alles Umstände, unter denen bei uns der Höhenrauch auftritt, nur die Zeit ist eine verschiedene. Die Temperaturerhöhung, die man gleichzeitig hier beobachtet, hängt aber mit dem Nebel nicht zusammen; sie gehört dem sogenannten Nachsommer an, der sich überall zeigt und das Zusammentreffen mit dem trockenen Nebel ist in gewisser Beziehung ein rein zufälliges. In Amerika wußte man beide Umstände nicht von einander zu trennen und dadurch wurde der Grund zu vielfachen und sonderbaren Hypothesen gelegt, die jedoch nichts erklärten.

Neben diesen machte sich aber auch hier die Ansicht geltend, daß die Nebel trockene und durch Verbrennen von Pflanzen verursacht seien. Foot schreibt ihnen **) die häufigen Augenaffectionen zu, eben so wie Fincke dem Höhenrauch. Foot und Atwater ***) berichten ausdrücklich, daß gerade zu dieser Zeit die Atmosphäre außerordentlich trocken sei und jener fügt hinzu, daß das dunstige, räucherige (smoky) ****) Ansehen immer verschwindet, sobald Regen eintritt. Ein solcher bemächtigt sich dann der Rauch- und Staubtheilchen, welche die Durchsichtigkeit der Luft trübten. Alles dies stimmt mit unserem Höhenrauch überein und somit ist auch die Ursache eine ähnliche. Die Indianer und Jäger haben die Gewohnheit, nachdem die Nachtfröste bereits einen Stillstand in der Vegetation bewirkt und die meisten Pflanzen vertrocknet sind, auf ihren Winterzügen die Felder, Prairien und Sümpfe in Brand zu setzen *****). Dazu gesellen sich noch furcht-

*) Sillim. amer. Journ. Vol. XXVII. u. XXX.
**) Sillim. americ. Journ. Vol. XXX. p. 11 u. Vol. XXVII. p. 146.
***) Sillim. americ. Journ. Vol. I. (2 ed.) p. 116.
****) Siehe auch Hitchcock, Sillim. americ. Journ. Vol. IV. p. 337.
*****) Interessante Angaben hierüber findet man von Atwater in Sillim. americ.

bare Waldbrände; so ergoß sich z. B. im October 1825 ein unermeßliches Feuermeer über mehr als 6000 engl. Quadratmeilen an den Ufern des Miramichi. Zu jener Zeit regnet es hier im ganzen Jahre am wenigsten und so können sich die Rauchtheilchen längere Zeit in der Luft erhalten und weithin verbreiten.

Hier tritt der Zusammenhang zwischen dem Nebel und den Steppenbränden entschiedener hervor. Je weiter die Cultur nach Westen vorgedrungen ist, um so mehr hat die Dauer des Nebels abgenommen. Aeltere Einwohner sprechen von 3 bis 4 Wochen und länger, während in neuerer Zeit der Nebel höchstens 14 Tage herrschte, ja oft nur wenige Tage anhält, und dann erscheint er jetzt bei weitem weniger regelmäßig als sonst. Die Indianer, immer mehr an Zahl zusammengeschmolzen, sind immer weiter westwärts gedrängt in ein Land, das nur mit einer sehr spärlichen Vegetation bedeckt ist. Die Brände sind jetzt seltener und beschränken sich auf eine weniger ausgedehnte Fläche und in Folge dessen hat auch der Nebel abgenommen.

Auch Dellmann folgert aus seinen Beobachtungen der Luftelektricität *), daß der Höhenrauch Rauch sei. Am 17. September 1852, Abends nach 8^h brach nämlich auf der Saline bei Kreuznach Feuer aus. Die Rauchsäule kam auf die Stadt zu und zog über Dellmann's Observatorium fort. Die um 8^h 28′ beginnenden Messungen der Luftelektricität, die unmittelbar auf einander folgten und deren jede 2 bis 3′ dauerte, ergaben bis 8^h 45′ folgende Werthe: 148,9 **); 195; 234,4; 295,5; 351,8 und 383,5. Von da ab an wurden die Werthe zwar geringer, sie stiegen aber bei jedem Aufflackern des Feuers. Die Elektricität war stets, wie auch bei den folgenden Messungen, + E. Als am 19. Mai 1853 N. M. 2^h Höhenrauch bemerkt wurde, ergab die erste Messung den Werth 58, die unmittelbar folgenden 671,5 und 1606,7; die Messungen 4^h 654,4. Das schnelle Steigen im Anfange scheint mit dem ersten Anrücken der Rauchsäule verbunden gewesen zu sein. Sonst war der höchste normale Werth in diesem Monat um 2^h 147,2. Von einem Gewitter, vor dem die Luftelektricität gewöhnlich, aber als — E, ebenfalls eine bedeutende Größe erreicht, war keine Spur vorhanden, da der Stratus als vorherrschende Wolkenform sich zeigte. Ein ähnliches Steigen wurde am 5. Juni bemerkt, wo Dellmann auf einem Spaziergange Höhenrauch bemerkte.

So hätten wir denn für die räthselhafte Erscheinung des Höhenrauches eine einfache und natürliche Erklärung gefunden. Freilich für die außerordentliche Verbreitung im Jahre 1783 reicht sie nicht aus. Hier geben uns aber die gewaltigen vulkanischen Ausbrüche auf Island und in Calabrien, die mit zu den größten gehören, von denen uns die Geschichte berichtet, beachtenswerthe Fingerzeige, um so mehr, als das Auftreten des großartigen Höhenrauches im Jahre 526 zusammenfällt mit einem großen Erdbeben in Syrien und der von 1721 mit dem in Tauris und Georgien ***). Ferner fielen 1755 Höhenrauch und stinkende

---

Journ. Vol. I. p. 116; Well, ibid. p. 334; Hale, Mem. of the Americ. Acad. Vol. IV. p. 398; Couse, ibid. Vol. I.; Montg. Martin, Hist. of the Brit. Col. Vol. III.

*) Poggend. Ann. Bd. LXXXIX. S. 625.

**) Die Einheit ist die Spannung eines Elementes einer Zink-Kupfer-Säule.

***) Kirwan, on the Variations of the Atmosphere Ch. V. sect. 3.

Nebel mit dem gewaltigen Erdbeben von Lissabon und einem Ausbruch des Katlegiaa, eines der mit ewigem Eise bedeckten Vulkane, auf Island zusammen; 1764 war der Aetna bedeutend thätig, furchtbarer noch der Cotopaxi und dieser verfinsterte lange Zeit durch die ausgeworfene Asche die Luft so sehr, daß man zu Hambato und Takunga den Tag über Licht brennen mußte *).

Die furchtbaren Ausbrüche des Jahres 1783 fallen genau in die Zeit des Höhenrauches und von Island meldet man, daß die Sonne durch den Rauch hindurch kaum sichtbar gewesen sei und ein ganz rothes Ansehen gehabt habe. Genauere Untersuchungen haben nachgewiesen, daß die dunkle Säule, welche sich über den Vulkanen erhebt, zwar ganz das Aussehen des Rauches zeige, aber aus Wasserdampf und Asche bestehe; sie kann also nicht die Ursache des Höhenrauches sein. Diese haben wir vielmehr in den Lavaergüssen zu suchen. Bei dem Fortschreiten der glühenden und flüssigen Massen wird alles, was in den Bereich des Feuerstromes gelangt, verkohlt und so, ähnlich wie bei den Moor- und Prairie-Bränden eine ungeheure Menge von Rauch erzeugt. Zu jener Zeit wurde in Island eine Fläche, auf der 17 Dörfer lagen, zerstört, die Lava bedeckte wenigstens 60 Quadratmeilen in einer Höhe von 100 Toisen, so daß sie einen Berg gebildet hätte, der 6 Mal so groß als der Montblanc und 2,7 Mal so groß als der Chimborasso gewesen wäre **). Durch den Nordwind wurde der Rauch nach Europa hinüber geführt. Bei einer nur mäßigen Luftströmung von 12 Fuß in der Secunde legt der Rauch in einem einzigen Tage einen Weg von über 43 Meilen zurück und 10 Tage reichten demnach hin, um die Reise von Island nach Frankreich zurück zu legen. Hat doch Finke genau nachgewiesen, daß Moorrauch sich bis auf 30 Meilen hin fortpflanzte, ohne im mindesten von seiner Stärke zu verlieren. Bei der außerordentlichen Dürre des Jahres 1783 wurde diese Ursache gewiß noch durch viele bedeutende Brände an verschiedenen Orten unterstützt.

Gerade das Einfache und Natürliche dieser Erklärung hat vielfach Widersprüche veranlaßt; der Mensch liebt es einmal das Räthselhafte und Wunderbare dem Naheliegenden vorzuziehen. Immer noch spricht man von räthselhaften augenblicklichen, mehr örtlichen Umänderungen oder Zersetzungen der Atmosphäre, die in höheren oder tieferen Regionen des Dunstkreises entstehen und sich auf benachbarte Gegenden übertragen sollen oder von Stoffen, welche sich die Atmosphäre unseres Planeten aus dem Weltenraum her angeeignet habe oder welche sich dieser beigesellt hätten. Namentlich in Zeiten, wo die Erscheinung häufig auftritt, suchen sich die verschiedenen Meinungen geltend zu machen und wo es den mystischen Richtungen an Beweisen fehlt, da nehmen sie zur Grobheit ihre Zuflucht. So sagt Dr. Hoyer ***) — der für sich die Ehre in Anspruch nimmt, zuerst in Deutschland — 1819 im Mindener Sonntagsblatt (!!) — den Höhenrauch für ein zersetztes (oxydirtes??) Gewitter erklärt zu haben — daß die, welche Höhenrauch und Moorrauch für identisch halten, noch nicht das A B C gelernt hätten, um im Buche der Natur lesen zu können. Dr. J. Müller erklärt sich ****) mit den

*) v. Humboldt, Reisen ꝛc. Th. III. S. 3.
**) Parrot, Physik der Erde. S. 224.
***) Arch. d. Pharm. [2] Bd. XLVII. S. 310.
****) Arch. d. Pharm. [2] Bd. XLVIII. S. 315.

hier erwähnten Ansichten über den „elektrischen Nebel" vollkommen einverstanden. Er verspricht den „vielen Schreiern, welche Anderen nachschreien", durch eine physikalisch-chemische Untersuchung zu beweisen, daß Moordampf und Höhenrauch zwei, über allen Zweifel (??) erhaben, „himmelweit" verschiedene Dinge sind. Bis heute warten wir auf das Erscheinen dieser großen physikalischen Untersuchung, die beiläufig gesagt, leichter mit dem Munde auszuführen ist, als in der Wirklichkeit*), vergebens; wir müssen uns mit der oft aufgewärmten Redensart, Höhenrauch sei ein nicht zum Ausbruch gekommenes Gewitter, begnügen.

Auf wie schwachen Füßen diese Ansicht steht, das zeigt uns am besten die Auslassung des Dr. Hoyer **) über das Zersetzen der Gewitter. „Wie ein Gewitter zersetzt oder rückgängig gemacht werden könne, ist freilich noch ein Problem; indeß wie es bei allen chemischen und physikalischen Versuchen Ursachen giebt, die sie nicht gelingen lassen, warum sollte das nicht auch bei einem Gewitter der Fall sein. Vielleicht auf folgende Weise. Es ist durch die Chemie bekannt, daß zwei Volumina Wasserstoffgas (H) mit einem Volumen Sauerstoffgas (O), durch den elektrischen Funken entzündet, Wasser (HO) bilden, wobei Wärme gebunden wird. Ist indeß dies genaue Verhältniß nicht vorhanden, so ist auch der Erfolg nicht derselbe und mißlingt. Dies nun auf das Gewitter angewandt, wobei dieselbe Erscheinung stattfindet. Durch den Blitz werden die Gase entzündet, so wie durch dessen heftigen Stoß und Druck mehr in die Enge gebracht und Wasser fließt herab. Sind indeß die Gase in dem gehörigen Verhältniß nicht da, so mag der Fall eintreten, daß mit einem einzigen Blitz, der nun die Gase nicht entzünden kann, das Gewitter aufhört oder zerstreut wird; — es entsteht ein Nebel, wie bei jeder Zersetzung eines Gases durch Druck oder Erkältung, die dem Gewitter durch die entgegenwehenden Nord und Nordwest wahrscheinlich zugeführt wird. Dieser Nebel ist ein Gemenge des nicht verdichteten Gases mit den sehr feinen tropfbar flüssigen oder festen Theilen, welche sich aus dem Gase abscheiden und die durch verschiedene Brechung des Lichts oder durch Undurchsichtigkeit eine Trübung veranlassen." Daß durch solche Redensarten nicht das Geringste bewiesen wird, ist freilich über allen Zweifel erhaben. Bedenkt man nun gar, daß diese Auseinandersetzung 1846 geschrieben ist, so wäre man vollkommen in seinem Rechte den Ausspruch vom A B C umzukehren.

Das Citat aus Humboldt's Kosmos: „der Volksglaube kann sich nie zu allgemeinen Ansichten erheben und schreibt daher immer große Erscheinungen localen Erd- oder Luftprocessen zu" ist dort gar nicht an seiner Stelle. Wäre der Dr. Hoyer in der Wissenschaft bewandert gewesen, so hätte er wissen müssen, daß diese die Ansichten der „Moorbrenner" schon lange vor 1846 als die ihrigen angenommen hatte ***) und daß „zersetzte Gewitter" nur noch in umnebelten Köpfen ihr Wesen trieben.

Von nüchternen Beobachtern ist hinreichend dargethan, daß der Höhenrauch stets vor dem Gewitter bereits vorhanden gewesen sei. Oberflächliche Beobachtungen

---

*) Fontana und Maret stellten mit dem Nebel von 1834 chemische Untersuchungen an, deren Resultate wenig befriedigend ausfielen.

**) A. a. O. S. 308.

***) Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie. Bd. III.

führen sehr leicht zu dem Glauben, der Nebel sei aus dem Gewitter entstanden; sehr leicht kann man die dunkelen Massen am Horizont für Gewitter halten, die dann natürlich beim Erscheinen ihre wahre Natur zeigen und so in die Irre führen.

Wir wollen glauben, daß der Höhenrauch mitunter von Umständen begleitet ist, die auf den ersten Blick sich nicht mit der angenommenen Ursache vereinigen lassen. In solchen Fällen ist aber mit einem Raisonnement, wie das, von dem wir eine Probe gegeben haben, nichts gewonnen. Wollen wir Erscheinungen in der Natur erklären, so müssen wir uns dabei auf ganze Reihen der sorgfaltigsten Beobachtungen stützen, und diese sind es gerade, welche hier immer noch fehlen, so häufig auch die Erscheinung selbst auftritt. Aus diesem Grunde ist auch Alles das, was man über den Einfluß des Höhenrauches auf die Witterung sagt, durchaus nicht erwiesen, überhaupt sehr in Frage zu stellen.

Von einer ähnlichen Erscheinung in Spanien erzählt Willkomm *). Von Mitte oder Ende des Juni an lagert sich alljährlich den ganzen Sommer hindurch ununterbrochen ein Nebel um den Horizont, der den Himmel trübt. Willkomm hat das eigenthümliche Phänomen beide Jahre hindurch beobachtet und jedesmal denselben Verlauf wahrgenommen. Zuerst bildet sich ein schmaler Nebelstreifen von bläulich-grauer Farbe rings um den Horizont. Dieser Nebelring wächst genau in derselben Proportion, als die Hitze steigt, bis er zuletzt von Mitte August an, wo die Wärme den höchsten Grad erreicht hat, ungefähr ein Viertel des Himmelsgewölbes bedeckt. Am Horizont hat er dann eine bräunlich-röthliche Farbe; weiter hinauf geht sie ins Gelbliche über und von dem Saum aus breitet sich ein durchsichtiger Dunst, wie ein zarter Gazeschleier, über das ganze Himmelsgewölbe aus, welcher dem Blau ein bleifarbenes Ansehen verleiht. Alle Horizonte sind nun gänzlich verhüllt und die Aussicht bis auf eine Entfernung von 3 bis 4 Stunden getrübt. Alle näher gelegenen Gegenstände dagegen sind scharf beleuchtet. Ein Geruch zeigt sich nie; man kommt auch nie in diesen Nebel hinein. Denn je mehr man sich einem so umflorten Gegenstande nähert, desto heller und deutlicher wird er, bis er endlich in einer Entfernung von ein Paar Stunden ganz hell daliegt und keine Spur mehr von dem Nebel zu sehen ist. Von Ende des August an tritt mit der abnehmenden Hitze allmälig eine Verringerung ein, bis mit den ersten Aequinoctialstürmen im September oder October das gänzliche Verschwinden stattfindet. Eben so verringert sich der Nebel bisweilen plötzlich, wenn ein Gewitter die Atmosphäre abkühlt, freilich im hohen Sommer ein sehr seltener Fall. Binnen wenigen Tagen jedoch erreicht er wieder seine vorige Ausdehnung.

Willkomm beobachtete diese Erscheinung namentlich in den heißen Ebenen des Guadalquivir, der Mancha und in der Provinz Almeria, weniger in den Gebirgen. Der gemeine Mann hält sie für ein Erzeugniß der Hitze und nennt sie deshalb „Calina" — wörtlich Nebel. Willkomm gebraucht zwar dafür den Ausdruck Höhenrauch, bemerkt aber ausdrücklich, daß dieser mit dem deutschen Höhenrauch durchaus nichts gemein habe. W. B.

Hören, s. Ohr.

Hörrohr, **Hörmaschine** (lat. tuba acustica, instrumentum acusticum; franz. cornet acoustique; engl. hearing trumpet) ist ein Instrument, dessen

*) Zwei Jahre in Spanien und Portugal. Bd. III. S. 118.

schwerhörige Personen sich zur Verstärkung des Schalles bedienen, um so ihr Gehör zu verbessern.

Die Ursachen der Schwer- und Harthörigkeit können sehr verschiedenartig sein, wie aus dem Baue des Gehörorganes (s. Art. Ohr) hervorgeht. Es leuchtet ein, daß es unmöglich ist, auf ein und demselben Wege oder durch ein und dasselbe Mittel dem Uebel in allen Fällen abzuhelfen, etwa wie man sowohl dem Kurz- als dem Weitsichtigen durch Brillen zu Hülfe zu kommen vermag. In dem vorliegenden Falle wird man zunächst unterscheiden müssen, ob die Ursache eine äußere oder innere ist.

Zu den äußeren Ursachen der Schwerhörigkeit gehört z. B. eine Verdeckung des Gehörganges durch die sogenannte Ecke. Eine dem Gehörgange angepaßte Röhre, etwa aus dünnem Silberbleche, mit einem umgebogenen Rande, durch welchen die Ecke zurückgehalten wird, leistet alsdann — dem Bearbeiter dieses Artikels ist ein bestimmter, derartiger Fall bekannt — die besten Dienste, wenn sie in den Gehörgang gesteckt wird. Verlust der Ohrmuschel oder nicht normale Bildung derselben sind ebenfalls hierzu zu rechnen. Künstliche Ohrmuscheln*) ersetzen den Verlust, künstliche Schallfänger aus dünnem Kupfer- oder Silberbleche **), an das Ohr befestigt, reichen in dem anderen Falle aus. Daß man durch Anlegen der flachen Hand hinter das kranke Ohr dasselbe erzielt, ist eine bekannte Erfahrung ***).

So sicher man in dergleichen Fällen, wie die angeführten sind, dem Uebel abhelfen kann, eben so rathlos ist man, wenn die Ursache der Schwerhörigkeit eine innere ist.

Alle Vorschläge zu Hörmaschinen kommen mehr oder weniger glücklich darauf hinaus, die mechanische Wirkung der Schallwellen zu verstärken; bei vielen besteht der Vorzug, welcher an ihnen vor anderen gerühmt wird, nicht einmal in einer vollständigeren Erreichung dieses Zweckes, sondern in der Erfüllung mancher Nebenrücksichten, als größerer Bequemlichkeit und dergl.

Unter allen Formen, welche man den Hörröhren gegeben hat, scheint am wirksamsten zu sein die einer einfachen cylindrischen Röhre, welche an einem Ende eine trompeten- oder trichterförmige Erweiterung hat, nach dem anderen Ende aber allmälig dünner zuläuft. Dies dünne Ende wird an den Gehörgang gesetzt. In Rücksicht auf die Gestaltung der trompeten- oder trichterförmigen Erweiterung hat man mancherlei Künsteleien angebracht. Die Form eines inwendig hohlen parabolischen Kegels, dessen Brennpunkt am Eingange in die engere Röhre liegt, schien die vortheilhafteste zu sein. Indessen wird ein solches Hörrohr von wenig Brauchbarkeit zur gewöhnlichen Unterhaltung sein, weil zwar, wie sich aus den Sprachgewölben ergiebt, wirklich eine Vereinigung der Schallstrahlen bei parabolisch gekrümmten Flächen stattfindet, dies aber nur für Strahlen gilt, welche

---

*) Rudtorffer, Armamentarium chirurgicum. Tab. XI. Fig. 18 u. 19.

**) Die Kunst, die Krankheiten des Ohres und des Gehöres zu heilen. Gotha und Erfurt 1828. Taf. I. Fig. 2.

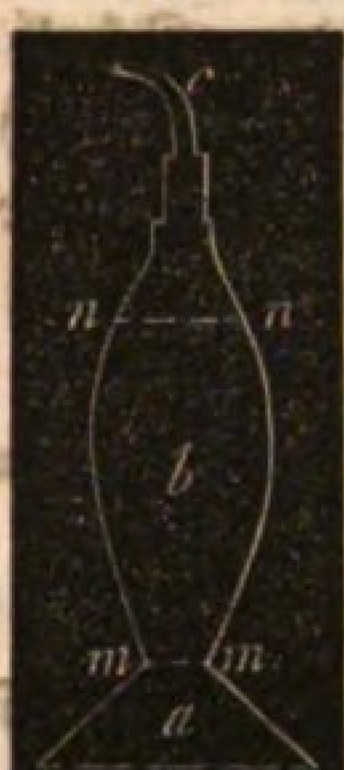
***) Ueber mehrere Arten künstlicher Ohren vergl. Curtis: Ueber den gesunden und kranken Zustand des Ohres, übersetzt von Robbi. Leipzig 1819. S. 83; eben so Itard, Traité des maladies de l'oreille et de l'audition. Paris 1821. Uebersetzt: die Krankheiten des Ohres und des Gehöres. Weimar 1822.

parallel mit der Axe auffallen. Es war namentlich Lambert, welcher die parabolische Form für die einzig richtige hielt *). Chladni **) hält es auch für vortheilhaft, dem Hörrohre eine kegelförmige Gestalt zu geben. Nur muß in diesem Falle dessen Spitze hinlänglich weit weggeschnitten werden, weil die Incidenzwinkel bei den mehreren Brechungen eines Schallstrahles immer in arithmetischer Progression zunehmen, und also der letzte noch nicht völlig 90° betragen darf, wenn der eingegangene Schall nicht wieder rückwärts gehen soll. Chladni führt a. a. O. noch an, daß Huth ein elliptisches Sprachrohr als Hörrohr von guter Wirkung gefunden habe. Die trompetenförmigen, wo also bei der Mündung die convexe Seite der Axe zugekehrt ist, verstärken den Schall nach Muncke ***) nur, wenn sie gekrümmt sind.

Besonders gestaltet ist das von Itard angegebene, in nebenstehender Fig. I. abgebildete Hörrohr. Dasselbe besteht aus einer trichterförmigen Oeffnung a, einer Trommel b, die am besten elliptisch gekrümmt ist, und dem in das Ohr zu bringenden eng zulaufenden Theile c. Da durch das Instrument die Töne summend werden, die Rede also verworren klingt, so soll man bei m m und n n künstliche Paukenfelle von Goldschlägerhaut ausspannen.

Andere Hörröhre, ebenfalls nach Itard's Angabe, sind schneckenförmig gekrümmt, wie die beiden nebenstehenden Figuren II. und III. veranschaulichen.

I.



II.



III.

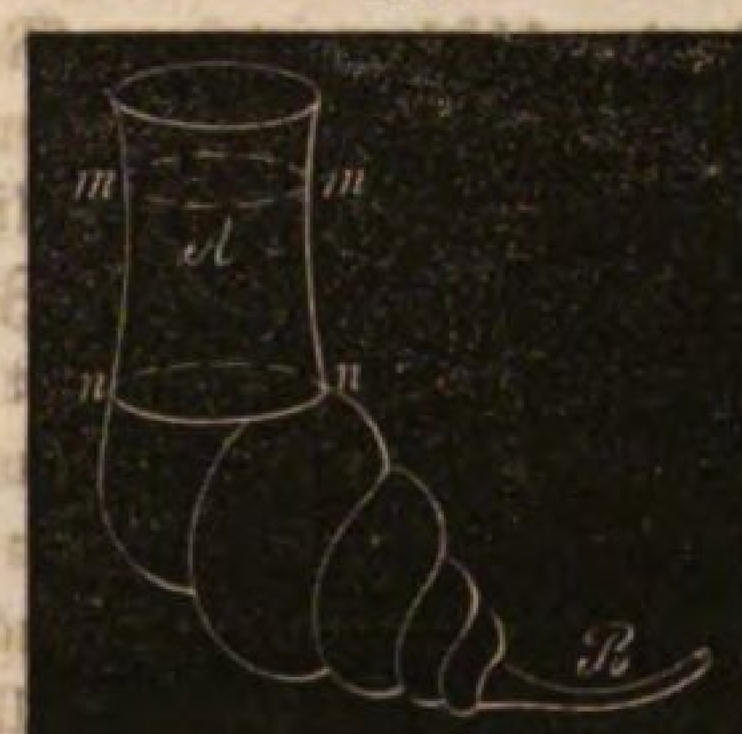


Fig. III. enthält ein wirkliches Schneckengehäuse (man nimmt sie von den Schrauben-, Trompeten- und Kegelschnecken) mit einer metallenen Mündung A und einem gekrümmten Rohre B zur bequemen Einbringung ins Ohr. Ein oder zwei künstliche Paukenfelle bei m m und n n dienen zur Verdeutlichung der Rede ****).

Besonders wirksam soll die, auch von Itard angegebene Vorrichtung sein, welche die umstehende Figur vorstellt. A A ist der Körper von dünnem Eisen- oder Messingblech, hohl und ungefähr eben so tief als breit. Er ist so gebogen, daß

---

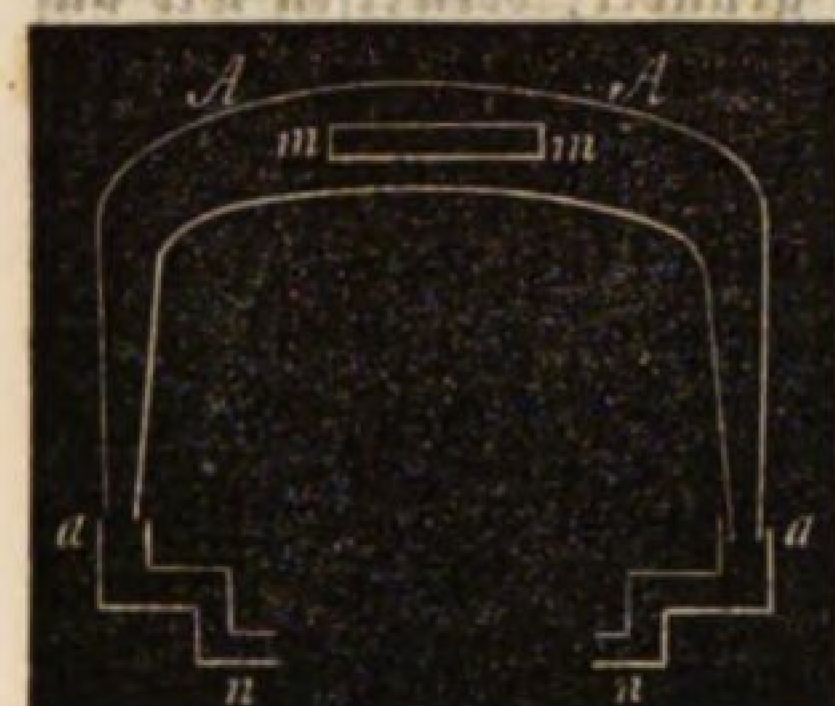
*) Mém. de l'Acad. de Berlin 1763 (1775): sur quelques instruments acoustiques §. 69.

**) Die Akustik. Leipzig 1802. S. 241.

***) Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 427.

****) Vergl. auch über ähnliche Hörröhre: Rudtorffer a. a. O. Tab. XI. Fig. 15. Nuck, operationes chirurgicae. Leidae 1692; Diction. de scienc. medic. T. VI. p. 46.

er ziemlich genau auf den Kopf des Schwerhörigen paßt, und verläuft sich allmälig in die dünnen Röhren a a. Auf diesen stecken zwei andere zweimal rechtwinkelig gebogene hohle Röhrchen, welche so gedreht werden können, daß man ihre Enden n, n in die Gehörgänge beider Ohren bringt. In der Mitte über der Stirn befindet sich eine Oeffnung m m, welche nur etwa 1,5 Zoll lang und 0,75 Z. breit ist. Durch diese gelangt der Schall in die Ohren. Schwerhörige Damen können den ganzen Apparat unter einer Haube von leichtem Zeuge tragen.



Von angeblich gutem Nutzen ist folgendes Instrument gewesen *). Es besteht aus einer cylindrischen Röhre von 21 Zoll Länge, welche aus zwei gleich langen Stücken zusammengesetzt ist, die über einander geschoben werden können. An dem einen hinteren Ende ist eine kurze, etwas gebogene, mit einem Knopfe versehene Röhre befestigt, welche beim Gebrauche des Instrumentes in den Gehörgang gesteckt wird; am anderen Ende ist ein glockenförmiger Apparat, in Gestalt einer Haube der Destillirmaschinen, angebracht, deren Oeffnung $3^1/_2$ Z. im Durchmesser hält. Dieser letztere Theil der Röhre steckt in einer Kapsel, in der Form eines schwach conischen Fäßchens von Metallblech, gegen dessen concaven Boden die Oeffnung des glockenförmigen Theiles der Röhre gerichtet ist. Die Decke des Fäßchens bildet eine siebförmig durchlöcherte dünne Metallplatte, und dient dazu, den Schall aufzunehmen. Dieser wird alsdann durch den concaven Boden reflectirt und geht durch den glockenförmigen Ansatz mittelst der Röhre zum Ohre. Der Boden des Fäßchens ist im Durchmesser $3^1/_4$ Zoll breit, die Decke hingegen $4^3/_4$ Zoll. Das ganze Instrument läßt sich leicht aus einander nehmen, so daß man es in der Tasche mit sich führen kann. Außerdem kann auch der Theil, welcher die Töne aufnimmt, nach allen Richtungen gedreht werden.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß sehr Schwerhörige ein auf einem Pianoforte vorgetragenes Musikstück vollständig vernehmen, wenn sie einen Holzstab auf den Resonanzboden des Instrumentes mit dem einen Ende aufsetzen und das andere Ende an die Zähne legen. Hierauf gründet sich der Gebrauch eines Sprachrohres als Hörrohr, welches der Kranke in den Mund nimmt und dessen weitere Mündung die redende Person mit den Lippen berührt. Boerhaave **) und Johann Jorissen ***) bedienten sich eines hölzernen, einige Fuß langen und etwa zwei Zoll dicken Stabes, dessen eines Ende der Taube und dessen anderes der Sprechende zwischen die Zähne nahm, ohne ihn jedoch mit den Lippen zu berühren. Itard hat auch diese Methode zu vervollkommnen gesucht, indem er ein hölzernes Sprachrohr mit einem Mundstücke, ähnlich dem einer Clarinette, angab. Unbequem bleibt hierbei immer noch, daß man das Instrument nicht mit den Händen anfassen darf. Es wird an Fäden aufgehängt, für welche noch ein besonderer Halter nöthig ist.

---

*) Die Kunst, die Krankheiten des Ohres und des Gehöres zu heilen. Gotha und Erfurt 1825. Fig. 10.

**) Institut. rei medic., de auditu.

***) Dissert. sistens novam methodum surdos reddendi audientes. Hal. 1757.

Ueber ein Instrument von der Größe und Form einer Kinderviolline, dessen Anwendung bei Schwerhörigkeit sich auf die Mittheilung der Tonmodulation an den Gehörnerven durch die Anastomose der Hautnerven gründet, verweisen wir auf das bereits angeführte Werk: die Kunst, die Krankheiten des Ohres ꝛc. Fig. 13.

Bei dem Gebrauche eines in den Gehörgang zu steckenden Instrumentes ist noch zu bemerken, daß die einzusteckende Röhre genau an den Gehörgang anschließen muß. Es ist daher gut einen besonderen Ansatz für diesen Theil des Instrumentes, etwa aus Gutta-Percha oder Kautschuk, anzufertigen, der leicht durch einen neuen ersetzt werden kann, wenn der Anschluß nicht mehr vollständig sein sollte. Die Erfahrung zeigt nämlich, daß ein sonst gute Dienste leistendes Instrument diese versagt, wenn die eben gestellte Bedingung nicht mehr erfüllt ist. Daß das Instrument in seinen Dimensionen auch dem Grade der Schwerhörigkeit angemessen sein muß, dafür spricht die Erfahrung, daß verschiedene Individuen sich gleichconstruirter Instrumente mit Vortheil bedienen können, und gleichwohl das des Einen nicht für den Anderen brauchbar sich erweist.

In geschichtlicher Beziehung ist zu erwähnen, daß die Erfindung den Spaniern zu verdanken sein möchte. Wenigstens findet sich die älteste Erwähnung der Hörmaschinen in Höfer's Werke *). Er hat bei den Spaniern ein Hörrohr gesehen, welches Sarbatana genannt wurde. Nach Beck **) finden sich auch in Italien Spuren, namentlich soll sich der berühmte Rechtsgelehrte Lollius Mursinnus eines silbernen Hörrohrs bedient haben. Auf den Gedanken, das verloren gegangene Trommelfell durch eine in dem Hörrohre angebrachte elastische Haut zu ersetzen, ist zuerst Truchet ***) gekommen. H. E.

Hof (lat. halo, corona; franz. halon, couronne; engl. halo, crown) heißt ein heller, oft farbiger Ring, von welchem zuweilen der Mond oder die Sonne, auch wohl die größeren Planeten und Fixsterne umgeben erscheinen. Der Durchmesser dieser Ringe ist sehr verschieden, von kaum 2° bis 45°, selbst 90°. Oft erscheinen mehrere Höfe gleichzeitig, und alsdann sind sie nicht selten begleitet von Nebensonnen (lat. parhelius; franz. parhélie, faux-soleil; engl. mocksun) oder Nebenmonden (lat. paraselenae; franz. paraselenes; engl. paraselenes). Die Erscheinungen, welche man unter dem Begriff Hof zusammenfaßt, sind also sehr mannichfach. Will man dieselben unter sich sondern, so muß man auf die zu ihrer Entstehung wesentlichen Nebenumstände Rücksicht nehmen.

Im Allgemeinen haben die Höfe ihren Grund in den die Atmosphäre erfüllenden Dünsten. Sie erscheinen in den gemäßigten und kalten Zonen, weder bei Schnee- und Regenwettern, noch bei völlig reinem Himmel, sondern dann, wenn die Atmosphäre mit dünnen und gleichförmig vertheilten Dunstschichten geschwängert ist, und stehen dann stunden-, selbst tagelang am Himmel. Es zeigt sich dann ein lichter, einen bald größeren, bald kleineren Raum einschließender Kreis oder Ring, in dessen Mittelpunkte sich die Sonne oder der Mond befindet. Höfe dieser Art, die man einfache nennen könnte, sind die gemeinsten; doch erscheinen sie

---

*) Hercules medicus I. lib. I. cap. 9; vergl. Leo in: Theoretisch-praktisches Handbuch der Chirurgie von Rust. Berlin und Wien 1833. Bd. IX. S. 48.

**) Die Krankheiten des Gehörganges ꝛc. Heidelberg und Leipzig 1827. S. 73.

***) Ann. Wratislavienses Cent. 4. anni 1718. Apr. 5. art. 1. §. 2.

um den Mond häufiger, als um die Sonne. Im letzteren Falle glänzen sie mit den Farben des Regenbogens, so daß Roth auf der Innenseite steht, obwohl nicht so lebhaft, als dieser selbst. Weniger häufig sind zwei concentrische Ringe, in deren Mittelpunkte alsdann die Sonne oder der Mond steht. Dies wäre ein doppelter Hof. Ein dreifacher Hof, der aus drei solchen Ringen besteht, kommt noch seltener vor. Nicht eben selten ist der Hof scheibenförmig. Alsdann umschließt ein Ring einen Raum, welcher merklich lichter ist als der übrige Theil des Himmels, und gleichfalls die Sonne oder den Mond zum Mittelpunkte hat. Bei den Höfen der eben bezeichneten Arten treten oft noch andere Ringe auf, entweder diese Ringe berührend oder durch das Centrum derselben gehend; auch sind es diese Höfe, bei welchen man Nebensonnen und Nebenmonde beobachtet. Kämtz *) nennt derartige Ringe Höfe im engeren Sinne und unterscheidet sie hierdurch von einer anderen Art, welche er Kränze nennt. Frauenhofer **) und Brandes ***) nennen die ersteren große Höfe, und die Kränze kleine Höfe.

Die Kränze kommen nicht in einer dünnen Dunstschicht zum Vorschein, sondern in dünnen Wolken, und zwar meist in federigen Schicht- oder Haufenwolken. Die zunächst rings um die Sonne oder den Mond liegenden Theile der Wolke erscheinen weit lichter als der übrige Himmel, zeigen auch wohl die Farben des Regenbogens, und zwar mit Roth auf der Außenseite, ohne jedoch, wie beim scheibenförmigen Hofe, durch einen Ring begrenzt zu sein. Der Durchmesser dieser Kränze erstreckt sich meist nur von 2^0 bis 5^0, selten über 10^0. Bisweilen ist der Kranz doppelt, indem er dann aus zwei solchen lichten Kreisflächen besteht, deren innere lebhafter leuchtet, als die äußere. Diese Form kommt nicht so gar selten vor und geht zuweilen in den einfachen Kranz über, oder umgekehrt. Drei- und vierfache Kränze sind sehr selten.

Schon die Bildung der Höfe in einer dünnen Dunstschicht und ihre Farblosigkeit, oder die rothe Färbung auf der Innenseite, und die Bildung der Kränze in dünnen Wolken und die dabei auftretenden Farben, namentlich das Roth auf der Außenseite, sprechen für den verschiedenen Ursprung. Noch mehr wird dies durch die verschiedene Erklärung beider Klassen von Höfen sich herausstellen. In dem Folgenden werden wir zunächst die kleinen Höfe oder Kränze und dann die großen Höfe oder Höfe im engeren Sinne in Betrachtung ziehen.

A. Kleine Höfe oder Kränze.

Die Kränze beobachtet man häufiger an dem Monde, als an der Sonne, wenn dünne Wolken oder Nebel vorbeiziehen. Durch die Strahlen der Sonne wird nämlich das Auge beim directen Hinblicken zu sehr geblendet. Macht man die Beobachtung im reflectirten Lichte, so bemerkt man die Kränze auch an der Sonne häufiger. Newton ****) machte eine solche Beobachtung an dem Sonnen-

---

*) Meteorologie. Bd. III. S. 88.
**) Schumacher's astronom. Abhandl. Bd. III. S. 34.
***) Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 433.
****) Optice, Lausannae et Genevae. 1740. p. 248.

bilde, welches von der ruhigen Wasserfläche in einem Gefäße reflectirt wurde. Kämtz *) bediente sich eines auf der Rückseite geschwärzten Glasspiegels, wobei das Licht so geschwächt wird, daß es möglich ist, die Erscheinungen in der Nähe der Sonne zu sehen, und wofern auch hier das Licht noch so lebhaft sein sollte, daß das Auge geblendet würde, so können durch Neigung des Spiegels blos die Strahlen von den in der Nähe der Sonne liegenden Theilen des Himmels reflectirt werden.

Am schönsten zeigen sich die Kränze nach Kämtz in den Nebeln, welche sich während der Nacht in den Thälern bilden und sich gegen Mittag allmälig zu den Spitzen der Berge erheben. Newton unterschied drei Reihen von Ringen; zunächst an der Sonne lag ein mattes Blau, worauf Weiß und späterhin Roth folgte; in der zweiten Reihe kam zuerst Purpur, dann Blau, Grün und zuletzt blasses Gelb und Roth; in der dritten Reihe befand sich innen blasses Blau und außen mattes Roth. Den Durchmesser der zweiten Reihe, von der Mitte zwischen Gelb und Roth gerechnet, fand Newton 9° 20′, den Durchmesser der ersten Reihe schätzte er zu 5 bis 6°, den der dritten zu 12°. Bei einer Messung, die er an einem Kranze um den Mond ausführte, erhielt er für die Durchmesser der rothen Kreise 3° und 5° 30′.

Die Kränze verdanken ihren Ursprung den kleinen Dunstbläschen in der Atmosphäre, wie man sich durch den Versuch überzeugen kann, wenn man eine reine Glasscheibe leicht anhaucht und sodann durch dieselbe ein entferntes Licht betrachtet. Dann erscheint das Licht von einem Hofe umgeben, welcher nahe am Lichte bläulich weiß ist und sich in Gelb und Roth endigt. Der Kranz ist desto größer und lebhafter, je feiner die angehauchten Dunstbläschen sich angelegt haben. Haucht man das Glas stärker an, so daß sich größere und ungleiche Dunstbläschen festsetzen, so erblickt man das Licht nur noch von einem blassen Scheine umgeben.

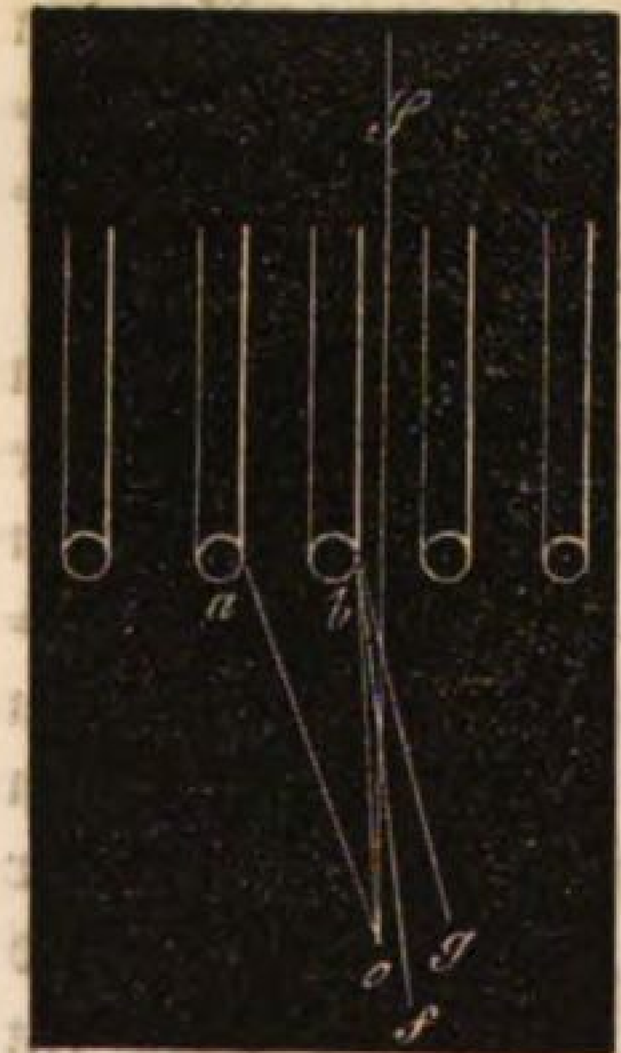
Das Phänomen der Kränze stellt sich entschieden heraus als eine Erscheinung der Beugung oder Inflection des Lichtes (s. Art. Inflection) an den Dunstbläschen der Atmosphäre. Um auf die bekannten Erscheinungen der Beugung, worauf zuerst Jordan **) die Erklärung gründete, die Kränze zurückzuführen, giebt Brandes ***) folgenden Versuch an.

Man nehme ein dünnes Florband, worin die überall gleich dicken Fäden regelmäßig gewebt sind, halte es so, daß die eine Fädenreihe vertical, die andere horizontal läuft, vor das Auge, und sehe durch dasselbe nach einer entfernten Lichtflamme, so sieht man erstlich neben dem Lichte an beiden Seiten mehrere einander zum Theil deckende Lichtflammen, die einen hellen, gegen den Rand hin rothen Raum ganz ausfüllen; dann folgt horizontal neben diesen Flammen ein dunkler Raum, an den sich ein schönes farbiges Bild der Lichtflammen, mit der blauen Seite nach dem Hauptlichte gekehrt, und dann Grün, Gelb, Roth zeigend anschließt; neben diesem sieht man wieder einen dunkelen Raum und dann ein eben so wie das vorige, gefärbtes Bild. Eben solche wiederholte Bilder der Lichtflamme sieht man oberwärts und unterwärts, wo sie aber wegen der Länge der

*) Meteorologie. Bd. III. S. 92.
**) Gilb. Ann. Bd. XVIII. S. 21.
***) Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 434.

Lichtflamme sich mehr einander decken. Entfernt man sich weit vom Lichte, so erscheinen die hellen, den inneren Raum ausfüllenden Lichtflammen mehr getrennt, weil ihre scheinbaren Abstände von einander gleich bleiben, während die scheinbare Größe jeder Flamme kleiner wird; die hinaufwärts oder herabwärts einander folgenden Bilder dagegen, die der Hauptflamme am nächsten liegen, decken ihrer größeren Länge wegen auch dann noch einander. — Diese vier Reihen wiederholter Lichtbilder, liegen nach der Richtung der Fäden des Bandes, und wenn man die horizontalen Fäden und damit auch die verticalen Fäden in eine schiefe Lage bringt, so nehmen die Lichtschweife eben die schiefe Lage an; legt man zwei Theile des Florbandes so über einander, daß die Fäden sich unter halbrechten Winkeln durchkreuzen, so erhält man acht Lichtschweife; und könnte man die Fäden nach allen Richtungen gehend anbringen, so würde sich um den inneren lichten Raum, der sich mit Roth einfaßt, ein Ring zeigen, der die ganze Farbenfolge und das Blau nach innen, das Roth nach außen, darböte; dann ein dritter Ring mit eben der Farbenfolge 2c. Diese Farbenfolge kann indeß bei leuchtenden Körpern von erheblichem Durchmesser nicht rein erscheinen, da eigentlich jeder leuchtende Punkt um sich einen runden Hof haben sollte, wo dann offenbar die Farben des einen auf andere Farben des anderen fallen, auf eine Weise, die sich leicht näher untersuchen ließe.

Frauenhofer*) hat die Erscheinung der Kränze aus der Beugung des Lichtes an den Dunstkügelchen mit Genauigkeit nachgewiesen. Er beweist, daß diese Beugung gerade so vor sich gehe, als wenn das Licht durch eine Oeffnung von einem dem Kügelchen gleichen Durchmesser geleitet würde, und überzeugte sich, daß man im Gesichtsfelde eines achromatischen Fernrohres, die einem Hofe der kleineren Art völlig ähnlichen Farbenringe sieht, wenn man vor dem Objectivglase sehr viele, ungemein kleine Glaskügelchen von beinahe gleicher Größe anbringt, und durch eine runde Oeffnung einen starken Lichtstrahl darauf leitet. Diese Ringe sind desto größer, je kleiner die Glaskügelchen sind. Es stellen nun die kleinen Scheibchen in nebenstehender Figur Dunstkügelchen vor, auf welche von der Sonne oder dem Monde S directe parallele Strahlen auffallen, die am Rande jedes einzelnen Kügelchens gebeugt werden, und nach der Beugung unter verschiedenen Winkeln ausfahren. Gesetzt es fahren die vom Kügelchen b gebeugten so aus, daß rothe Strahlen, welche den ersten Ring bilden, ins Auge o gelangen, so werden die rothen des zweiten und dritten Ringes das Auge verfehlen und den Weg bf, bg einschlagen. Dafür können vom Kügelchen a die rothen des zweiten Ringes nach o gelangen. Auf ähnliche Weise geschieht es mit den Strahlen von anderen Farben. Sind nun die Dunstkügelchen im ganzen Raume nach allen Richtungen zerstreut, so sieht das Auge o Farbenringe um S, wovon der erste rothe in einem Abstande boS, der zweite rothe in einem



*) Theorie der Höfe und Nebensonnen; in Schumacher's astronom. Abhandl. Bd. III. S. 56.

Abstande a o S vom leuchtenden Körper erscheint. Haben die Dunstkügelchen beinahe einerlei Größe, so haben alle homogenen Ringe einerlei Durchmesser, sie fallen auf einander und verstärken den Eindruck jedes einzelnen; haben sie aber eine verschiedene Größe, so fallen die Ringe von verschiedener Farbe an denselben Platz, die Farben werden matter oder verschwinden ganz, so daß nur ein heller Ring um den leuchtenden Körper übrig bleibt. Sind die Dunstkügelchen groß, so werden die Farbenringe sehr klein und können um größere und heller leuchtende Gestirne nicht mehr gesehen werden, theils weil ihr Licht in so großer Nähe bei leuchtenden Körpern verschwindet. In diesem Falle können aber noch um Fixsterne Höfe erscheinen.

Frauenhofer hat die Größe der Radien der verschiedenen rothen Ringe berechnet; dieselbe ist abhängig von der Größe des Durchmessers der Dunstkügelchen. Bezeichnet nämlich d diesen Durchmesser in Pariser Zollen und r′ den Halbmesser des ersten rothen Ringes, r″ den des zweiten, r‴ den des dritten, so ist $r' = \frac{0,0000257}{d}$; $r'' = r' + \frac{0,0000214}{d}$; $r''' = r'' + \frac{0,0000214}{d}$.

Hiernach hat nun Frauenhofer drei einzelne Beobachtungen über Höfe berechnet, und gefunden, daß bei der einen von Jordan angestellten d = 0,00191 Zoll, bei einer zweiten von demselben angestellten d = 0,000578 und bei einer dritten von Newton gemachten Beobachtung d = 0,00113 Z. war.

Kämtz *) hat, um die Berechnung von d zu erleichtern, folgende Tabelle berechnet. Es enthält dieselbe in der ersten Spalte von 10 zu 10 Minuten den Halbmesser des ersten rothen Ringes; in der zweiten und dritten Spalte finden sich die zugehörigen Halbmesser des zweiten und dritten rothen Kreises, in der vierten steht der Werth von d, der zu diesen unmittelbar gefundenen Dimensionen gehört. Der Halbmesser von Sonne und Mond, zu 15′ gerechnet, ist bei der Berechnung bereits subtrahirt.

r′	r″	r‴	Durchmesser der Dunstbläschen Par. Zoll
0° 40′	1° 1′	1° 22′	0,0035341
50	19	48	.25243
1. 0	37	2. 15	19633
10	56	41	16100
20	2. 14	3. 7	13591
30	32	34	11779
40	51	4. 0	10392
50	3. 9	27	9300
2. 0	27	53	8415
10	46	5. 20	7683
20	4. 4	46	7068
30	23	6. 15	6544

*) A. a. O. S. 98.

r′	r″	r‴	Durchmesser der Dunstbläschen. Par. Zoll
40	41	42	0,006093
50	59	7. 8	5700
3. 0	5. 18	35	5354
10	36	8. 1	5049
20	54	28	4776
30	6. 12	55	4531
40	31	9. 21	4310
50	49	48	4109
4. 0	7. 7	10. 14	3927
10	26	41	3759
20	44	11. 8	3606
30	8. 2	34	3465
40	21	12. 1	3334
50	8. 39	12. 28	3213

Aus einer großen Anzahl von Beobachtungen findet Kämtz, daß der mittlere Durchmesser im Winter am größten ist und sich dann ziemlich regelmäßig vermindert bis zu der Zeit, wo die relative Feuchtigkeit der Luft am kleinsten ist, worauf er wieder bis zum Winter wächst. Er erhält nämlich für den

Winter	d = 0,0009526
Frühling	d = 0,0007206
Sommer	d = 0,0006107
Herbst	d = 0,0009039
Jahr	d = 0,0007969.

Die Kränze sind besonders häufig in den kälteren Zonen, aber auch zwischen den Wendekreisen hat man sie beobachtet. Nach v. Humboldt zeigen sich fast in allen Nächten, sogar zur Zeit der größten Trockenheit in der heißen Zone schöne prismatische Farben, welche oft während weniger Minuten mehrmals verschwinden. Zwischen 15° Breite und dem Aequator beobachtete er selbst um die Venus farbige Höfe von rother, rothgelber und veilchenblauer Farbe. Doch konnte er niemals Höfe um den Sirius oder Canopus entdecken. Zu Cumana in Südamerika beobachtete er am 17. August 1799 einen Hof um den Mond, dessen verticaler Durchmesser 1° 43′ und horizontaler 1° 50′ war. Das Hygrometer besagte eine starke Feuchtigkeit, während die Atmosphäre vollkommen durchsichtig war *).

Der Durchmesser der Kränze hängt von der Beschaffenheit der Witterung ab. Je anhaltender das schöne Wetter ist, desto größer ist derselbe, aber vor Regenwetter vergrößern sich die Dimensionen der Dunstbläschen sehr schnell und bei veränderlichem Wetter ist der Dunst in verschiedenen Wolken ungleich. Wenn zu solchen Zeiten ein gut ausgebildeter Hof erscheint, so bleiben die Dimensionen in derselben Wolke auch meistens constant. Haben die Dunstbläschen sehr ungleiche Größe, so können keine Kränze mit verschiedenen Farben gesehen werden; es ent-

*) Humboldt, Voyage T. II. p. 309.

steht in diesem Falle nur ein heller Schein. Sind die Dunstbläschen sehr groß, so werden die Kränze sehr klein, und sie können dann bei der Sonne oder dem Monde nicht gesehen werden. In diesem Falle können aber die größeren Sterne von Höfen umgeben sein.

Die einfachste Bestätigung dieser Erklärung von der Entstehung der Kränze ist, daß, wenn man durch eine leicht angehauchte Fensterscheibe einen entfernten leuchtenden Körper oder auch den Mond betrachtet, man denselben mit einem Hofe umgeben sieht, und zwar ist dieser Hof um so ausgebildeter, je dünner der Dunstüberzug am Fenster ist. Eben so erblickt man in einem mit Dünsten erfüllten Zimmer farbige Schimmer um die Lichter, welche sich als förmliche Höfe zeigen würden, wenn nicht hier die Dünste zu unruhig bewegt wären.

Aus denselben Ursachen, aus denen die kleinen Höfe um Sonne und Mond sich bilden, entstehen auch diejenigen Höfe, welche zuweilen um den Schatten des eigenen Kopfes im Nebel gesehen worden. Bouguer *) sah auf dem Pichincha in Peru in dem Augenblicke, in welchem die Sonne aufging, auf einer weißen, etwa 30 Schritte von ihm entfernten Wolke, seinen eigenen Schatten, und zwar den Kopf mit drei oder vier kleinen, unter sich gleichlaufenden regenbogenartigen Kreisen umgeben, welche sehr lebhaft glänzten. In einer ziemlichen Entfernung waren diese farbigen Kreise von einem großen weißen Kreise umschlossen. Er hatte einen Durchmesser von 67°; die Durchmesser der kleinen Kreise waren $5^2/_3$, 11 und 17 Grad. Aehnliches beobachtete v. Gersdorf **) auf der Tafelfichte, und auch auf dem Brocken ist diese Erscheinung unter dem Namen des Brockenschattens oder Brockengespenstes ***) bekannt. Mac Fait ****) sah dieselbe Erscheinung auf einem Hügel in Schottland. Ueber das Vorkommen dieser Höfe, namentlich in den Polargegenden berichtet Scoresby d. J. *****) folgendes: Höfe oder helle Kreise lassen sich sehen, wenn Sonnenschein und Nebel zugleich vorhanden sind. Dies geschieht in den Polargegenden oft, wo die Nebel nicht selten aus einer dünnen Schicht bestehen, die auf der Oberfläche des Meeres ruht und sich nur zu einer Höhe von 150 bis 180 engl. Fuß erstreckt. Alsdann kann man Gegenstände auf dem Wasser in einer Entfernung von 300 F. und weniger kaum erkennen, während die Sonne nicht blos sichtbar ist, sondern fast mit eben so großem Glanze wie bei hellem Himmel erscheint. Unter solchen Umständen wird ein Beobachter auf dem Mars (Mastkorbe) des Schiffes 90 bis 100 F. über dem Meeresspiegel einen oder mehrere farbige Kreise auf dem Nebel sich bilden sehen. Im letzteren Falle sind die Kreise alle concentrisch (haben denselben Mittelpunkt) und der Mittelpunkt derselben liegt in der geraden Linie, die aus der Sonne durch das Auge des Beobachters nach der Nebelwand geht; in einem Abstande von 180° von der Sonne oder ihr gerade entgegengesetzt. Die Anzahl der Kreise wechselt von Einem bis zu vier oder fünf. Gemeiniglich sind sie dann am zahlreichsten und die Farben am glänzendsten, wenn die Sonne recht hell scheint und der Nebel recht dicht und niedrig ist. In allen Fällen erscheint

*) Mém. de l'Acad. Roy. 1744. p. 264. Frauenhofer a. a. O. S. 49.
**) Lampadius, Atmosphärologie. S. 553. 87.
***) Gilb. Ann. Bd. XVIII.
****) Edinburgh Essays T. I. p. 198.
*****) Scoresby Reise auf den Wallfischfang. S. 285 ff. Journ. of a Voyage to the northern Whalefishery. p. 276.

der Schatten vom Kopfe des Zuschauers in dem Mittelpunkte der Kreise, und außerdem erblickt man auch den Schatten des übrigen Körpers, oder der den Beobachter zunächst umgebenden Gegenstände, z. B. des Mars, der Masten und Segel. Der innere Kreis, welcher zunächst um den Mittelpunkt geht, ist so klein, daß wenn er recht glänzt, er eine Art von Gegensonne oder eine Glorie um den Kopf des Beobachters bildet.

Aehnliche Beobachtungen hat Sykes *) oft in den Nebeln in Indien wahrgenommen.

Die Erklärung dieser Erscheinung, von Kämtz Gegensonnen genannt, leitet Frauenhofer **) auf dieselbe Art ab, wie die Kränze. An den Dunstbläschen, welche den Kopf des Beobachters zunächst umgeben, werden die Lichtstrahlen gebeugt, wie an jedem anderen; da sie aber bei ihrem Durchgange durch andere Dunstbläschen, wenn sie durch deren Mittelpunkt gegangen sind, in derselben Richtung theilweise reflectirt werden, so kommen sie in das Auge des Beobachters zurück, der dann um den Kopf in seinem Schatten nothwendig einen eben solchen Lichtkranz erblicken muß, als er der Sonne zugekehrt, um diese sehen müßte. Hieraus ist auch klar, daß jeder Beobachter nur seinen eigenen Lichtkranz, oder seine eigene Gegensonne wahrnehmen kann.

Der Entstehung nach verschieden von der eben erwähnten ist eine andere Erscheinung, welche gleichwohl als übrigens analog, hier erwähnt werden mag. Bei sehr niedrigem Stande der Sonne nämlich erblickt man zuweilen den Schatten seines eigenen Kopfes von einem hellen Scheine umgeben, welcher sich besonders über den oberen Theil des Schattens weiter fort erstreckt. Am besten erblickt man diesen Schein, wenn der Schatten auf eine mit Gras, Korn und dergleichen bewachsene Ebene fällt, zumal wenn die Grashalme mit Thau bedeckt sind. Man erblickt nämlich von den nahe um den Schatten des Hauptes liegenden Grashalmen den Spiegelglanz von der Oberfläche sowohl, als von der Rückseite der Thautropfen (gemäß der Bildung des Schattens, s. d. Art.), auch erblickt man von diesen Grashalmen gerade die erleuchtete Seite, wogegen die weiter seitwärts gelegenen Halme uns mehr oder weniger ihre dunkele Seite zukehren. Da ferner die oberhalb des Schattens liegenden Halme alle die erleuchtete Seite uns zuwenden, so erblicken wir nach dieser Richtung hin den Schein um das Haupt ausgedehnt. Es ist klar, daß sich nur das Auge dessen, der den Schatten wirft, in derjenigen Stellung befindet, welche nöthig ist, um die Erscheinung überhaupt wahrzunehmen. Gewöhnlich treten bei diesem Phänomen keine Farbenerscheinungen auf, diese können jedoch stattfinden, wenn bei zahlreichen sehr feinen Thautropfen (ähnlich wie beim Nebel) die Beugung der Lichtstrahlen Farbenkreise hervorbringt.

B. Große Höfe oder Höfe im engeren Sinne.

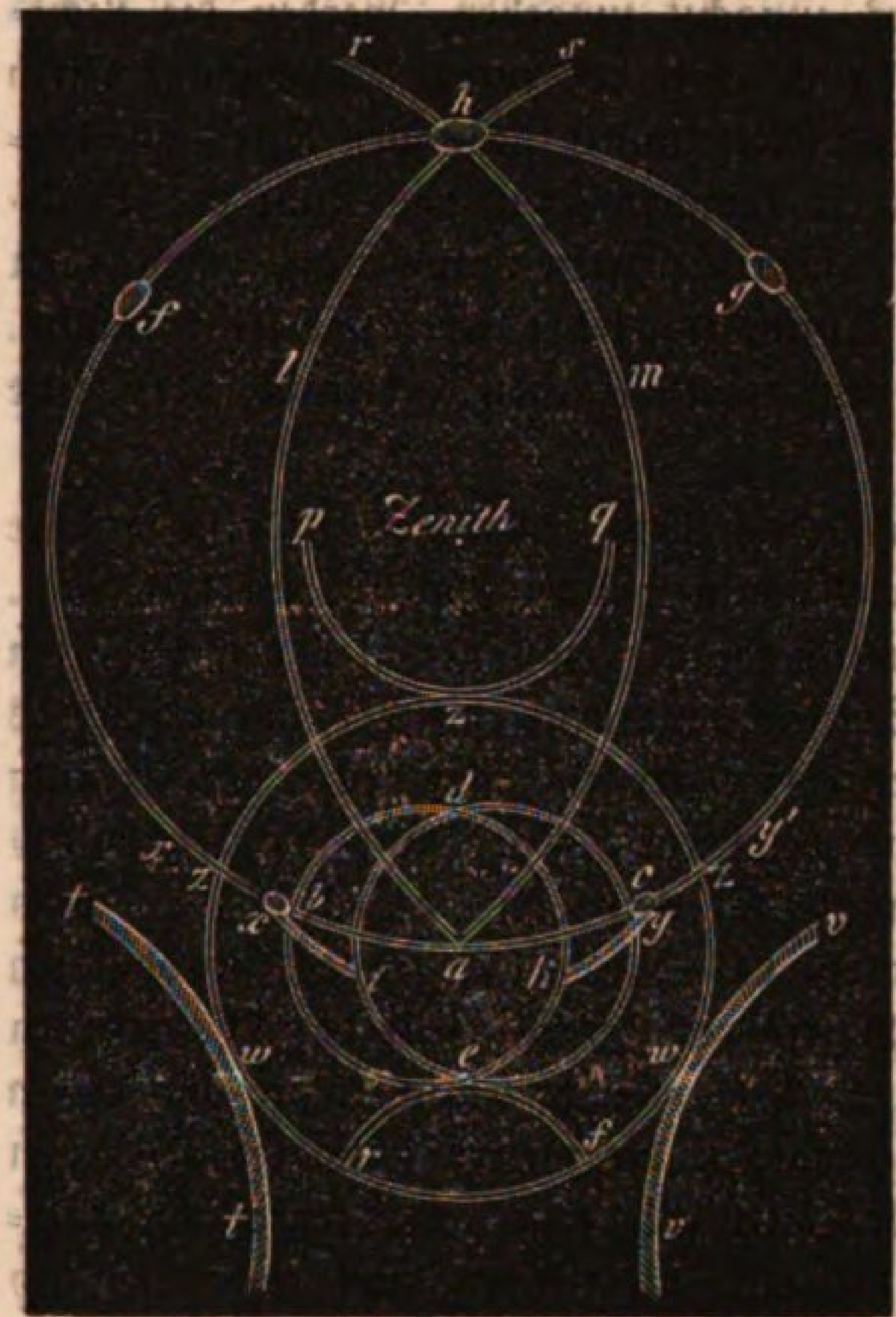
Brandes ***) giebt eine Beschreibung des ganzen Phänomens, wie es bei seiner vollkommensten Ausbildung erscheint. Bei dieser ist die Beobachtung

---

*) Phil. Transact. 1835. p. 194.
**) A. a. O. S. 62.
***) A. a. O. S. 444. vergl. auch Kämtz a. a. O. S. 112.

eines am 29. Juni 1790 in Petersburg gesehenen Phänomens von Lowitz *) zu Grunde gelegt, und Beobachtungen von Kries und v. Hoff in Gotha am 12. Mai 1824 **) und von Schult, Hansteen und Segelke am 27. März 1826 in Norwegen ***) sind berücksichtigt worden.

„Bei einer mit Dünsten gleich einem Nebel erfüllten Atmosphäre, zeigte sich die in Petersburg beobachtete Erscheinung von $7^1/_2$ Uhr bis $12^1/_2$ Uhr, jedoch nicht immer gleich vollständig. Die Hauptheile des Phänomens waren folgende: 1) Ein Ring von ungefähr 22 Grad Halbmesser, welcher die Sonne umgiebt. Er zeigt an der inneren Seite Roth und an der äußeren Seite ein ins Bläuliche gehendes Weiß. Lowitz sah statt dieses gewöhnlich einfachen Kreises zwei sich oben und unten durchschneidende Kreise bdce, und die norwegischen Beobachter sahen sogar drei, welches beides ungewöhnlich ist. Nach Aepinus Beobachtungen kommen die seitwärts liegenden Bogen, die er als elliptische Bogen ansieht, öfter vor. 2) Ein Kreis, welcher die Sonne zum Mittelpunkte hatte, zzz und ebenfalls farbig erschien. Aus anderen Beobachtungen ist bekannt, daß dieser Kreis reinere Regenbogenfarben zu zeigen pflegt als der erstere, und daß sein Halbmesser doppelt so groß ist als der des ersteren. Das Roth ist auch hier der Sonne am nächsten. 3) Ein weißer, farbenloser horizontaler Kreis abzflige, welcher durch die Sonne geht und den ganzen Himmel umgiebt. 4) Auf diesem standen bei dem Petersburger Phänomen fünf Nebensonnen.



Zwei derselben x und y standen etwas außerhalb des kleinen Ringes, statt daß man sie gewöhnlicher in dem Durchschnitte dieses Ringes mit dem Horizontalkreise sieht; sie waren gefärbt und kehren allemal der Sonne ihre rothe Seite zu, sie hatten lange glänzende Schweife, die sich nach xx′, yy′ auf dem Horizontalkreise fort erstreckten; die farbigen Bogen xi, yk, die Lowitz als von ihm ausgehend beobachtete, sind sonst wohl nie gesehen worden. 5) Die dritte Nebensonne oder Gegensonne h stand auf dem Horizontalkreise der Sonne gerade gegenüber, sie war weiß und blaß. 6) Die vierte und fünfte Nebensonne f und g waren ebenfalls weiß, und haben sich auch bei allen über sie vorhandenen Beobachtungen so gezeigt; sie sind zwar schon ein seltnerer

*) Nova Acta acad. Petrop. T. VIII. p. 384.

**) Kastner's Archiv für gesammte Naturlehre; vergl. auch: De Zach, Cor. astron. T. X. p. 533.

***) Hansteen's Magaz. for Naturvidenskaberne. 1826. Hft. I. p. 154.

Theil der Erscheinung, aber doch manches Mal gesehen worden, und nach einer älteren Beobachtung scheinen sie da zu stehen, wo ein Kreis um die Sonne, von 90 Grad Halbmesser, jenen Horizontalkreis schneidet. 7) Oben am inneren Ringe bei d war ein so lebhafter Glanz, daß das Auge ihn kaum zu ertragen vermochte. Hier, genau vertical oberhalb der Sonne ist auch der gewöhnlich einfache Ring sehr oft viel glänzender, und man sieht hier zuweilen einen gegen die Sonne convexen Bogen, der alsdann dem Bogen ganz entsprechend scheint, welchen 8) Lowitz in r e f am untersten Punkte jenes Ringes sah, und den er als sehr hell und breit, aber von kleinerem Halbmesser als irgend einen der anderen beschreibt. 9) Am oberen Punkte z des größeren Ringes erschien ein Bogen p z q, der convex gegen die Sonne war. Merkwürdig ist, daß dieser gegen die Sonne convexe Bogen mit eben den schönen Regenbogenfarben, wie z z z ziemlich oft gesehen wird, wenn auch z z z selbst fehlt, daß er aber auch dann senkrecht über der Sonne in derselben Entfernung steht, die der Ring z z z zu haben pflegt. 10) Ferner sah Lowitz zwei Kreisbogen h l d und h m d, die durch die Gegensonne gingen und die er als durch d, den oberen Punkt des inneren Ringes gehend, zeichnet. Sie waren weiß und so blaß, daß manche Personen sie nicht erkennen konnten; Lowitz sagt, sie begegneten einander in der blendenden Helle in d nahe bei der Sonne; da aber Schult sie als durch die Sonne selbst gehend zeichnet, so bin ich sehr geneigt auch bei Lowitz's Beobachtung anzunehmen, daß sie sich erst in der Sonne selbst durchkreuzt haben würden, wenn das Auge sie deutlich genug hätte verfolgen können, und deswegen stellt die Figur sie auf diese Weise dar. So selten diese Kreise sind, so kommen doch Spuren von ihnen auch bei anderen Beobachtern vor, und man findet die Angabe, daß sie sich unter Winkeln von 60 Graden durchkreuzen, was mit Lowitz's Zeichnung und den Angaben der norwegischen Beobachter, auch mit v. Hoff und anderen wohl übereinstimmt. 11) Endlich sah Lowitz noch zwei den äußeren Ring berührende Kreise t t, v v, deren Berührungspunkte nach der Zeichnung etwa 60 Grade von dem unteren Punkte lagen. Sie glichen an Farbenglanz und an Breite ganz dem Regenbogen. Auch sie kommen sehr selten vor; bei dem norwegischen Phänomen zeichnet Schult sie in etwas anderer Stellung, ich (Brandes) glaube aber zeigen zu können, daß sie ganz mit den von Lowitz beobachteten übereinstimmen." — So bestand das von Lowitz beobachtete Phänomen, wie er zum Schluß bemerkt, aus 12 Bogen, unter denen 9 farbige waren, welche sämmtlich das Roth der Sonne zukehrten, und man kann wohl die Behauptung wagen, daß es wenigstens vier Kreise oder Bogen mehr geben könnte, von denen 2 bei anderen Gelegenheiten wirklich gesehen worden sind."

Bei dem von Kries in Gotha beobachteten Phänomen zeigten sich 6 bis 8 theils vollständige Kreise, theils Bogen, einige in den glänzendsten Farben, andere in einem weniger lebhaften Lichte und 6 verschiedene Nebensonnen gleichfalls in verschiedenem Glanze der Farben und des Lichtes.

Berühmt ist das sogenannte römische Phänomen, welches Scheiner*) am 20. März 1629 zu Rom beobachtete.

Um die Sonne erblickte man zwei unter sich gleichlaufende (concentrische), farbige, aber an der Seite nicht geschlossene Ringe, von welchen der äußere weit

*) Hugenii Opera posth. T. II. p. 12 u. 16.

blässer als der innere, und kaum zu erkennen war. Diese zwei Ringe wurden von einem dritten, größeren und ganz weißen, oberwärts so durchschnitten, daß er mitten durch die Sonne ging und überall mit dem Horizont gleichlaufend war. Anfangs war dieser Kreis ganz, gegen das Ende der Erscheinung aber entstand an der einen Seite eine merkliche Lücke. An den beiden Punkten, wo er den äußeren der beiden farbigen um die Sonne gehenden Ringe durchschnitt, zeigten sich zwei Nebensonnen, die eine schwächer als die andere. In ihrer Mitte leuchteten sie jedoch fast eben so lebhaft als die wahre Sonne; nach dem Rande hin hatten sie Farben wie der Regenbogen, und waren hier auch nicht rund und scharf begrenzt, sondern ungleich und verwaschen. Die eine Nebensonne war beständig in zitternder Bewegung, und warf einen feuerfarbenen Schweif von sich, der von der wahren Sonne abwärts gekehrt war. Jenseits des Scheitelpunktes zeigten sich in dem mit dem Horizont gleichlaufenden Kreise noch zwei andere Nebensonnen, zwar nicht so glänzend wie jene, aber runder und gleichfalls nur von weißer Farbe. Die eine derselben verschwand früher als die andere, so wie sich auch der Ring auf dieser Seite zuerst auflöste. Eben so verschwand von den Nebensonnen in dem farbigen Ringe die stärkere eher als die schwächere, und die letztere nahm nach dem Verschwinden jener an Glanze zu und war überhaupt die allerletzte, welche verschwand. In den farbigen Kreisen war die rothe Farbe der Sonne am nächsten.

Hevel *) sah am 20. Februar 1561 zu Danzig 7 Nebensonnen. Drei farbige Kreise gingen um die Sonne, deren äußerster sich noch über den Scheitelpunkt hinaus erstreckte, und über der Sonne, also innerhalb des mit dem Horizont gleichlaufenden Kreises erschienen noch zwei Bruchstücke von anderen Kreisen, die, wenn sie vollständig gewesen wären, gleichfalls mit dem Horizont und mit dem großen weißen Kreise parallel gelaufen sein würden. Die Nebensonnen befanden sich alle in den Durchschnittspunkten der Kreise und Bogen, nur eine einzige zeigte sich jenseits des Scheitelpunktes in dem großen dem Horizonte parallelen Kreise und der wahren Sonne gegenüber. Auch hatte die eine Nebensonne auf derselben Seite wie bei dem römischen Phänomen oder dem Beobachter zur Rechten, einen ähnlichen feuerfarbenen Schweif, der sich aber nicht gerade aus von der Sonne abwandte, sondern in einem Bogen fast nach der Richtung des großen Kreises hin sich krümmte.

Nach Bravais **) lassen sich die verschiedenen von den Beobachtern angegebenen Formen auf folgende Typen zurückführen:

Ring (halo) von 22°; Nebensonnen (parhélies) von 22°; Lowitz's schiefe Bögen, von den Nebensonnen zum Ringe gehend; gewöhnliche Berührungsbögen der Ringe von 22°, sowohl oben als unten; elliptischer Ring, umschrieben um den Ring von 22°; Ring von 46°; horizontale Berührungsbögen des Ringes von 46°; seitliche Berührungsbögen des Ringes von 46°; Nebensonnenkreis (cercle parhélique); Nebensonnen in etwa 45° Abstand von der Sonne; ungewöhnliche Berührungsbögen des Ringes von 22°; ungewöhnliche Ringe mit Radien von 5?, 14?, 19?, 28?, 35? und 90? Grad; ungewöhnliche, ihnen entsprechende circumzenithale Bögen; weiße Nebensonnen oder Nebengegensonnen

---

*) Mercurius in Sole visus. Append. u. Hugenii Opera posth. T. II.

**) Poggend. Ann. Ergänzbd. Bd. LXXII. b. S. 500.

(paranthélies) in 120° Abstand vom Gestirn; Nebensonnen in etwa 100° Abstand; schiefer Kreis, von Hall *) gesehen; senkrechte Säulen beim Aufgange oder Untergange erscheinend; Kreuz an Sonne und Mond; Trugsonnen (faux-soleils), gesehen von Rothmann und Cassini **) in Berührung mit der wahren Sonne; endlich Gegensonne (anthélie) und die im Andreaskreuze durch sie hingehenden Bögen.

Das Phänomen der großen Höfe ist keineswegs selten. Nach Kämtz ***) sind in unseren Klimaten wenigstens 60 Höfe im Durchschnitt jährlich sichtbar. Mayer ****) hat in einem Jahre (April 1826 bis April 1827) in Frankfurt um die Sonne 47 große und 6 kleine Ringe, 13 horizontale und 7 verticale Nebensonnen, und um den Mond 12 große und 15 kleine Ringe beobachtet. Aepinus *****) zeichnete 1758 in 5 Monaten 26 Erscheinungen von Höfen auf, minder merkwürdige nicht mit gerechnet. Besonders häufig sind diese Erscheinungen in den nördlichen Gegenden. So sah Wales †) an der Hudsonsbay die Sonne fast täglich mit Nebensonnen aufgehen, und von denselben bis zum Niedergange begleitet werden. Schon vor Sonnenaufgang wurden die oberhalb der Sonne liegenden Theile des Ringes sichtbar, und man sah zuerst etwa 20° von der Stelle des Sonnenaufgangs lichte Streifen über den Horizont sich erheben, die, wenn die Sonne die dem Scheitelpunkte näheren Theile derjenigen Schicht, wo die Erscheinung sichtbar wurde, zu beleuchten anfing, sich oben immer mehr zu einem vollen Halbkreise rundeten. Bei Sonnenaufgang war der helle Hof vollständig und die zwei in ihm stehenden Nebensonnen gingen, wie gesagt, zugleich mit der Sonne auf und begleiteten sie den ganzen Tag. Nach Fritsch ††) zeigen sich in Prag nach sechsjährigen Beobachtungen durchschnittlich jährlich: 45,4 Höfe um die Sonne; 8,7 Höfe um den Mond; 1,6 Kränze um die Sonne; 23,6 Kränze um den Mond; 19,2 Nebensonnen. Die meisten Höfe um die Sonne beobachtet man im Mai, die wenigsten im December; die meisten um den Mond im November, die wenigsten im Juli; die meisten Nebensonnen im Mai, die wenigsten im November. Nach eben demselben können nur die Nebensonnen als Vorboten von Niederschlägen gelten, und zwar ist diese Wahrscheinlichkeit im Herbste am größten, im Winter am kleinsten.

Daß auch zwischen den Wendekreisen Höfe möglich sind, dafür spricht die Beobachtung, welche v. Humboldt †††) in der Nähe der Insel Tortuga im Antillenmeere an der Sonne machte. Die Temperatur sank dabei um $3^1/_2{}^0$, wahrscheinlich in Folge eines herabsinkenden kalten Windes.

Wie weit bisweilen die zur Entstehung der Höfe wesentlichen Verhältnisse der Atmosphäre gleichzeitig verbreitet sind, dafür sei nur ein Beispiel angeführt. Am 21. März 1853 beobachtete man Höfe mit Nebensonnen zu Trier, Münster

*) Edinb. Phil. Transact. T. IV. p. 173; vergl. Gilb. Ann. Bd. III. S. 357.
**) Mém. de l'acad. de Paris. T. X. p. 234. Hugenii opera reliq. T. II. p. 48.
***) A. a. O. S. 115.
****) Kastner's Archiv. Bd. XIII. S. 237.
*****) Novi Comment. Petrop. T. VIII. p. 392.
†) Phil. Transact. 1770. p. 129.
††) Berichte der Wiener Akad. Bd. IX. S. 3.
†††) Voyage. T. XI. p. 125.

und Emden *). Auch an den darauf folgenden Tagen dauerten diese Verhältnisse noch fort. Von dem 23. März namentlich berichtet E. Heis aus Münster: Kurz nach Mittag bildete sich um die Sonne ein großer Hof von lichter Farbe, welcher nahe am höchsten Rande, aber etwas nach Osten zu, gefärbt war, nach der Sonne zu roth, in der Mitte weiß und am äußeren Rande blaugrün. Für kurze Zeit erschienen sowohl am oberen Rande des Hofes, als zu beiden Seiten kleinere regenbogenartig gefärbte Bogen, welche ihre convexe Seite der Sonne zukehrten. Messungen ergaben den verticalen Durchmesser des Hofes zu 45°, der horizontale Durchmesser dagegen schien 48° zu halten. Gegen 12½ Uhr kamen 2 Nebensonnen zum Vorschein und zwar in gleicher Höhe mit der Sonne, aber außerhalb des Hofes. Die Entfernung von der Sonne betrug beiderseits 28 Grade in Theilen eines größten Kreises und 36 Grade in Theilen des durch die Sonne gehenden horizontalen Kreises gemessen. Die beiden Nebensonnen, deutlich auf dem dunstigen Himmelsgrunde, hatten ein intensivweißes, nicht blendendes Licht; nur für kurze Zeit waren sie gefärbt, die rothe Farbe der Sonne zugewendet. Sie waren nicht völlig rund, sondern sie zeigten entgegengesetzt von der Sonne horizontal sich hinstreckende zugespitzte Schweife. Um 1 Uhr, wo der Himmel sich mit dichteren Wolken bedeckte, verschwand die Erscheinung. — Ein um 6 Uhr fallender Schnee war nicht, wie gewöhnlich der Fall ist, sternförmig krystallisirt, sondern feinkörnig. Unter diesen Körnern fanden sich bei genauer Untersuchung mittelst der Loupe eine Menge meist mit einander verbundener, aber auch getrennter glänzender, nadelförmiger Krystalle **).

Nach Brandes muß man, und hierdurch gewinnt das sonst außerordentlich verwickelte Phänomen an Uebersichtlichkeit, drei verschiedene Arten von Kreisen unterscheiden. Zu der ersten Klasse gehören die Kreise, welche durch die Sonne gehen, zu der zweiten diejenigen, welche die Sonne zu ihrem Centrum haben, die eigentlichen Höfe, zu der dritten endlich die unvollkommenen Kreise, welche die Höfe von Außen berühren. Eine vierte Klasse machen noch diejenigen Phänomene aus, welche von zufällig obwaltenden Umständen abhängen. Brandes giebt den Rath, um die Erscheinungen, die sich bei jeder einzelnen Beobachtung darbieten, richtig zu übersehen, die Kreise auf eine Kugel aufzuzeichnen, weil die Zeichnung in einer Ebene die Theile nie alle in ihrer richtigen gegenseitigen Lage darstellen kann. Von den zur ersten Klasse gehörigen Kreisen sieht man am häufigsten den Horizontalkreis, und selbst dann noch, wenn er zu schwach ist um gesehen zu werden, deuten ihn häufig die bei b und c (Fig. S. 869) erscheinenden Nebensonnen

---

*) Jahn's Unterhaltungen. 7. Jahrg. 1853. S. 117, 128 u. 144.

**) Zahlreiche Beobachtungen sind zu finden bei Kämtz Meteorologie. Bd. III. S. 112 ff. Als beste Beschreibungen von Nebensonnen führt Brandes an: Miscell. Berol. T. VI. p. 253. Nov. Comment. Petrop. T. VI. p. 438, T. VIII. p. 392. Philos. Transact. T. I. p. 219, T. XXXI. p. 312, T. XXXIV. p. 257, T. XL. p. 59. Mém. de Paris. T. X. p. 647 u. 1721, 231. 1735, 87. De Zach Corresp. T. X. p. 534. Transact. of the Irish Acad. 1787. Wir fügen hinzu: Poggend. Ann. Bd. II. S. 435, Bd. VII. S. 529, Bd. XIII. S. 370, Bd. XLVI. S. 660. Galle, eben da in Bd. XLIX. S. 1. 241 u. 632. Bravais, eben da in Bd. LXIX. S. 465, aus Compt. rend. T. XXII. p. 740. Derselbe in: Compt. rend. T. XXIV. p. 962, vergl. Poggend. Ann. Ergänzungsband LXXII. b. S. 500. Lowe in: The London, Edinburgh and Dublin philosoph. magaz. T. XXIX. p. 440. De Launay in: Compt. rend. T. XXXII. p. 725. Beobachtung eines Nebenmondes Büllet. de l'acad. de Belgique. T. XVII. p. 409.

an. Zuweilen ist mit ihm zugleich ein verticaler, durch die Sonne gehender Kreis vorhanden, der dann entweder bei der Sonne selbst (oder beim Monde, in dessen Nähe man die Erscheinung leichter wahrnimmt), oder in h, der Sonne gegenüber, ein aufrechtes weißes Kreuz hervorbringt.

Nach Venturi *) leitet Brandes das ganze Phänomen der großen Höfe um Sonne und Mond von feinen Eiskrystallen, prismatischen Eisnadeln ab, welche zur Zeit des Vorkommens der Höfe in der Luft schweben. Das Vorhandensein solcher Eistheilchen in der Luft kann man im Winter selbst bei ganz heiterem Wetter beobachten. Aus Martens „voyage au Nord" führt Venturi an, daß zuweilen ein Reif in Form kleiner Schneenadeln ins Meer fiel, und daß man diese am besten dann gewahr wurde, wenn die Sonnenstrahlen neben einem schattigen Orte vorbeigingen, indem diese Eispartikeln dann wie Brillanten glänzend sich deutlich wahrnehmen ließen. Brandes setzt hinzu: „Ich selbst habe oft solche Schneenadeln zuweilen bei heiterem Himmel in der Luft schweben gesehen, und ihr zurückgeworfenes Licht wurde, da sie mit einem sehr gelinden Luftzuge so fortzuziehen scheinen, daß ihre Längendimension horizontal ist, dann am deutlichsten, wenn sie sich in dem Verticalkreise der Sonne befanden. In dieser Gegend sieht man sie freilich auch darum am bequemsten, weil man neben der verticalen Wand eines Hauses am besten das Auge in Schatten halten und die unter der Sonne vorbeiziehenden, nur sehr wenig aus dem Verticalkreise der Sonne heraustretenden Schneenadeln beobachten kann. Zu solchen Zeiten sind diese Schneenadeln oft so sparsam vorhanden, daß man die, welche dem Auge noch einzeln sichtbar bleiben, also in einem sehr begrenzten Gesichtskreise liegen, fast zählen zu können meint, aber dennoch kann der aus ihrer Zurückwerfung oder Brechung des Lichtes hervorragende Glanz gar wohl uns helle Ringe 2c. zeigen, da in der langen Linie vom Auge bis zur Wolkenregion eine hinreichende Zahl dieser Krystalle vorhanden sein kann."

Für die Ableitung des Phänomens vom Dasein kleiner Eisnadeln in der Luft spricht der Umstand, daß dasselbe am häufigsten im Winter und in den kalten Gegenden sich zeigt. Besonders beweisend ist eine von Langberg **) auf der schneebedeckten Eisfläche eines Landsees unweit Christiania wahrgenommene Erscheinung. Zwar kommt es, wie bereits oben angeführt wurde, nach v. Humboldt auch in südlichen Gegenden vor, so wie es auch im Sommer bei uns beobachtet worden ist; doch steht dies keineswegs mit der Voraussetzung von Eisnadeln im Widerspruche. Es findet alsdann derselbe Vorgang in der Atmosphäre statt, wie bei der Bildung von Hagel (s. Art. Hagel), nämlich ein aufsteigender Luftstrom in Folge an der Oberfläche der Erde herrschender hohen Temperatur. Beim Herabfallen aus den kalten in die wärmeren Regionen müssen diese Eisnadeln natürlich schmelzen oder vielmehr verdunsten, ehe sie die Erde erreichen können. In den oben angeführten Beobachtungen von Höfen ist bereits auf eintretendes Schneewetter hingewiesen worden; hier sei nur noch bemerkt, daß Höfe um Sonne und Mond als sichere Vorboten von nasser Witterung und Wind gelten.

---

*) Commentari sopra la storia e le teorie dell' ottica I. Bologna 1814.

**) Poggend. Ann. Bd. LX. S. 155 aus: Nyt Magazin for Naturvidenskaberne. T. III. p. 402.

Was nun die Erklärung dieser Erscheinungen anbelangt, so betrachten wir:

1. Die durch die Sonne gehenden weißen Kreise.

Huyghens *) nimmt zur Erklärung des weißen Horizontalkreises Eiscylinder an, die, mit ihrer Axe vertical schwebend, das Sonnenlicht wie verticale Spiegel zurückwerfen und so einen hellen horizontalen Ring darstellen. Es kommt hierbei jedoch nicht auf die Gestalt der Eisnadeln an, und prismatisch geformte werden, wenn ihre Kanten vertical stehen, durch Reflexion Sonnenbilder geben, die in ihrem Vereine einen weißen Kreis bilden, welcher in seiner Breite dem Durchmesser der Sonne gleich kommt, und mit dem Horizonte parallel oft um den ganzen Himmel gehen kann.

Die einfache Erklärung dieses Kreises macht es wahrscheinlich, daß wir auf gleichem Wege auch in anderen Fällen zum Ziele gelangen werden.

Bei niedrigem Stande der Sonne beobachtet man oft ein Stück eines verticalen Kreises über der Sonne in Gestalt einer Säule. Seltener ist dieser Streifen auch unter der Sonne oder dem Monde wahrgenommen worden. Brandes erklärt dies Phänomen aus der Reflexion an Eisnadeln, deren Kanten horizontal liegen und senkrecht auf der verticalen Ebene stehen, welche durch die Sonne, das Auge und den Einfallspunkt des Lichtes geht. Eine solche Lage der Eisnadeln kann durch einen leisen Luftzug veranlaßt werden, und man müßte annehmen, daß vorzugsweise in der Gegend der Atmosphäre, an welcher man den verticalen Streifen erblickt, eine größere Anzahl so gestellter Eisnadeln vorhanden wäre, weil sonst auch an anderen Stellen eine Reflexion sich bemerkbar machen müßte. Oder die Prismen haben eine sehr kurze Axe, so daß beim Fallen die Grundflächen vertical werden. Kämtz **) und Frauenhofer ***) suchen das Phänomen auf Lichtbeugung zurückzuführen, so zwar, daß die einzelnen farbigen Bilder sich mit einander mischen und dadurch blos einen hellen Streifen bilden. Wegen des Näheren müssen wir auf die angeführten Stellen verweisen; nur sei bemerkt, daß durch Beobachtungen über Polarisation die Frage zur Entscheidung gebracht werden könnte. Leider fehlt es noch an dergleichen.

Sind beide Kreise vorhanden, der horizontale und verticale, so beobachtet man ein Kreuz ****), in dessen Mitte die Sonne oder der Mond steht, oder an der entgegengesetzten Stelle des Himmels. Um eine in neuerer Zeit gemachte Beobachtung dieser Art anzuführen, sei eine solche vom 25. März 1853 in Nürnberg erwähnt, wo sich früh zwischen 4 und 5 Uhr das Kreuz in großer Ausdehnung und in ausgezeichneter Schönheit zeigte *****).

Der Widerspruch, welcher darin liegt, daß der eine Kreis horizontal, der andere vertical schwebende Eisnadeln voraussetzt, also diese eine ruhige Luft, jene einen Luftzug bedingen, beides aber gleichzeitig stattfinden müßte, löst sich vielleicht

*) Dissertatio de coronis et parheliis in Op. posth. Lugdun. Batav. 1703.
**) A. a. O. S. 113.
***) A. a. O. S. 82.
****) Vergl. Poggend. Ann. Bd. XIII. S. 370.
*****) Jahn's Unterhaltungen 1853. S. 128.

dadurch, daß beides in der That, aber in verschiedenen Luftschichten der Fall ist. Wahrscheinlicher ist aber, daß gleichzeitig lange und kurze Prismen vorhanden sind. Jene werden dann mit ihrer Axe vertical schweben und horizontale Grundflächen haben, diese hingegen müßten beim Herabfallen mit ihren Grundflächen vertical werden und die Axe horizontal liegend haben.

Eine Erklärung der durch die Sonne gehenden Kreise hla und hma in der oben gegebenen Hauptfigur findet Brandes darin, daß sich die Eisnadeln nie anders als unter dem Winkel von 60 Graden an einander fügen. So wie man nun für die auf den Horizont senkrechten Nadeln einen Horizontalkreis durch die Sonne erhält, so würden wir für alle Schneenadeln, die gegen einen 60° vom Zenith abliegenden Punkt, der zugleich um 90° im Azimuth von der Sonne absteht, gerichtet sind, einen Kreis, durch die Sonne gehend, senkrecht auf diese Richtung, durch die Spiegelung der Sonne in diesen Prismen sehen müssen *).

2. Kreise, welche die Sonne oder den Mond zu ihrem Centrum haben.

Die rothe Farbe, welche bei diesen Kreisen in der Regel auf der Innenseite sichtbar ist, weist uns bei der Erklärung derselben auf eine stattfindende Brechung des Lichtes hin. Diese Erklärung in einer Brechung in Dunstbläschen zu finden, versuchte Frauenhofer vergeblich; wohl aber gelingt dieselbe unter der Annahme von Schnee- oder Eiskrystallen, bei denen der Brechungswinkel 60° beträgt, die also eine regelmäßig dreiseitige Grundfläche haben.

Die Ablenkung eines durch einen brechenden Winkel, z. B. durch ein dreikantiges Prisma, hindurch gehenden Lichtstrahles von seiner Richtung ist am kleinsten, wenn die beiden inneren Winkel des Strahles mit den Einfallslothen gleich sind, d. h. wenn der durchgehende Strahl ein gleichschenkeliges Dreieck abschneidet **). Da nun der Brechungsexponent des Eises nach Wollaston ***) = 1,31 ist für mittlere Strahlen, so ist für diese Strahlen die kleinste Ablenkung 21° 50′ 20″. Nimmt man für die rothen Strahlen den Brechungsexponenten = 1,303, so erhält man für diese als kleinste Ablenkung 21° 18′; nimmt man dafür 1,306, so ist dieselbe 21° 32′.

Diese Stellung eines Prismas, bei welcher die Ablenkung am kleinsten wird, — die sogenannte vortheilhafteste Stellung —, zeichnet sich dadurch aus, daß selbst bei einer nicht zu bedeutenden Abweichung des einfallenden Strahles von der streng erforderlichen Größe, die Ablenkung doch keine bedeutende Veränderung erleidet. Für rothe Strahlen bei einem Brechungsexponenten = 1,303 ist z. B. der Einfallswinkel des auf das Prisma fallenden Strahles streng = 40° 39′, und diesem entspricht das Minimum der Ablenkung 21° 18′; wächst der

---

*) Beobachtungen dieser seltenen Kreise finden wir verzeichnet in: Phil. Transact. 1787. p. 44. 1839. T. XLI. p. 221 de Zach Corresp. astron. T. X. p. 536. Poggend. Ann. Bd. VII. S. 529. Hansteen's Magaz. for Naturvid. 1826. T. I. p. 154.

**) Vergl. Art. Brechung des Lichtes. Bd. I. S. 877. Emsmann, physik. Aufg. S. 93. Nr. 13.

***) Art. Brechung. Bd. I. S. 885. Philos. Transact. 1802.

Winkel bis 50°, so beträgt die Ablenkung doch nur 22°, und nimmt er bis 31° ab, so ebenfalls nur 22° 10′. Wenn also das Prisma auch seine Stellung zu dem auffallenden Strahle ändert, so beträgt die Aenderung in der Ablenkung für einen um 10° größeren oder kleineren Einfallswinkel doch nur etwa $^3/_4$ Grad.

Denken wir uns nun die Atmosphäre mit Eiskrystallen erfüllt, so werden sich diese in beständiger Drehung befinden, und hierbei werden eine Menge in die Lage zur Sonne oder dem Mond und zu dem Auge des Beobachters kommen, daß dadurch ein heller Kreis um die Sonne oder den Mond erzeugt wird, dessen Halbmesser im Mittel 21° 50′ betragen wird. Daß jeder Beobachter seinen eigenen Kreis sieht, wie dies auch bei dem Regenbogen der Fall ist, und daß in jedem Augenblicke andere Eiskrystalle die erzeugenden werden, versteht sich von selbst. Es sei hier nur noch bemerkt, daß die häufig an den Höfen angestellten Messungen in der That einen Halbmesser von ungefähr 22° ergeben haben, so daß die Erfahrung und Theorie befriedigend übereinstimmen. Denken wir uns die Eisprismen gleichseitig dreiseitig, so sind von den 120 Strahlen, welche auf eine Fläche, von Grad zu Grad gerechnet, fallen, 20, nämlich von 31° bis 50°, zur Erzeugung des hellen Kreises günstig, d. h. es werfen ungefähr $^1/_6$ aller möglichen Strahlen das Bild fast auf dieselbe Stelle. Die Bedingungen zur Bildung dieses Hofes ergeben sich also als leicht erfüllbare.

Seltener als der eben betrachtete Kreis zeigt sich ein zweiter von noch einmal so großem Halbmesser *).

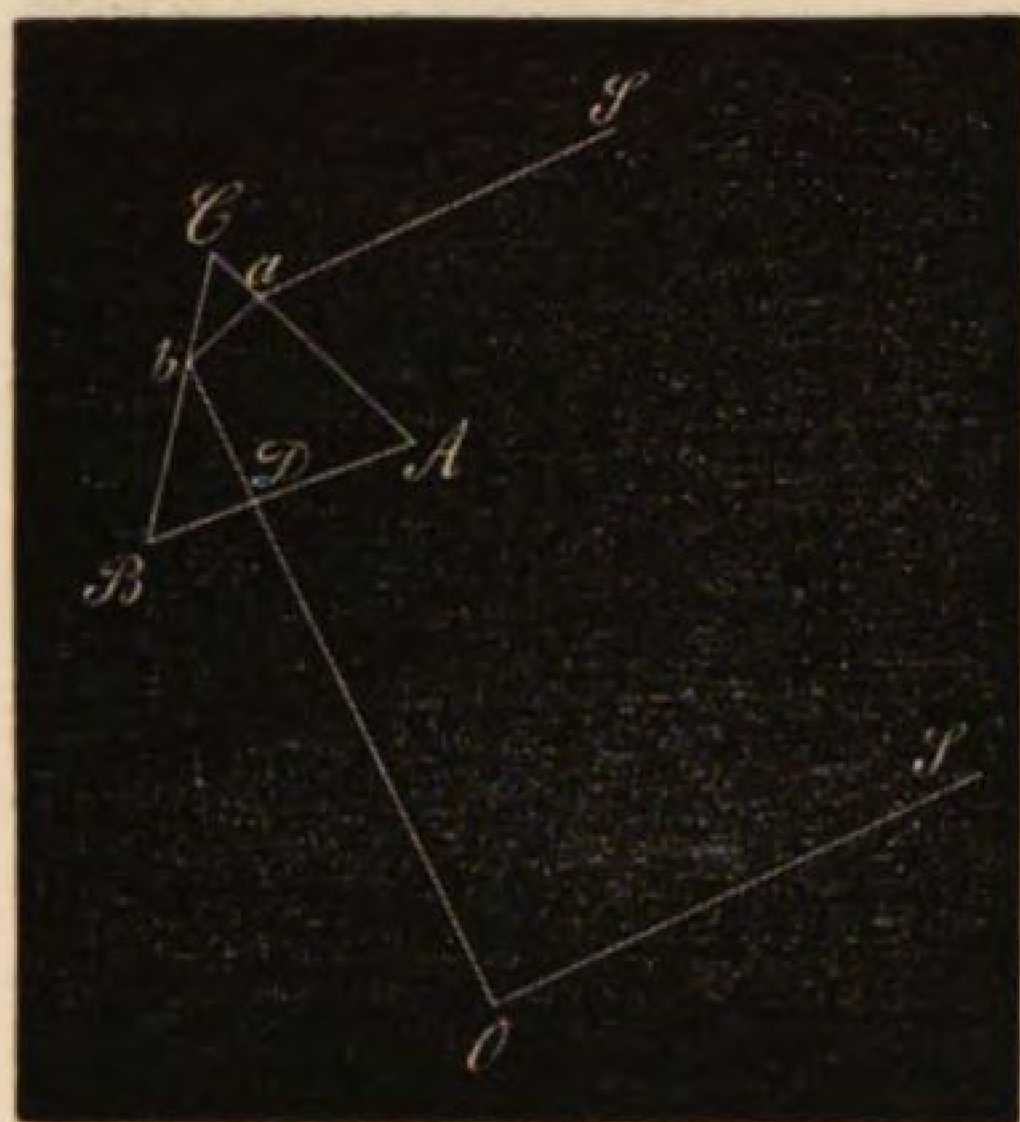
Brandes weist nach, daß, eben so wie bei dem Ringe von 22° Halbmesser, es eine Lage der Eisprismen giebt, bei welcher mehrere Lichtstrahlen nahe unter sich parallel austreten und in das Auge aus einer Richtung gelangen, welche um 44° von der Sonne absteht. Indessen ist es ihm nach Venturi's Vorgange wahrscheinlicher, daß dieser Kreis durch sternförmige Eiskrystalle hervorgebracht wird, oder dadurch, daß die bereits einmal unter dem Minimum der Ablenkung durch ein Prisma gegangenen Lichtstrahlen nochmals durch ein zweites unter denselben Verhältnissen gehen, so daß also eine doppelt so große Ablenkung eintreten müßte. Bei sternförmigen Eiskrystallen würde dieser Vorgang in zwei Zacken nach einander eintreten. Frauenhofer und Eduard Schmidt **) nehmen sechsseitige Eisprismen an, die in eine sechsseitige Pyramide endigen, in welcher die zwei an der Spitze gegenüberliegenden Flächen einen Neigungswinkel von 88° einschließen. Hierbei kommt Frauenhofer auf einen Kreis von 45° Halbmesser. Die Seltenheit dieses Ringes hätte in der Seltenheit dieser Krystallformen eine Stütze, eben so spräche für die geringe Intensität dieses Ringes die Kleinheit der Pyramidenflächen.

Der noch seltenere, nur von Hevel gesehene, Kreis in einer Entfernung von 90° von der Sonne erklärt sich auf folgende Weise. Fällt auf ein Eisprisma ABC (siehe umstehende Figur) ein Lichtstrahl Sa, so kann

*) Beobachtungen dieses Ringes finden sich: Mém. de Paris 1721. p. 231. 1735. p. 87 u. 585. Phil. Transact. 1737. p. 59. Novi Comment. Petrop. T. VIII. p. 392. Gilbert's Ann. Bd. XVIII. S. 105. De Zach Corresp. T. X. p. 534. Magaz. for Naturvid. 1826. T. I. p. 154. Kämtz a. a. O. S. 127. Dieser sah diesen Kreis in 5 Jahren nur zweimal.

**) Analyt. Optik.

dieser unter einem so großen Einfallswinkel nach der Brechung bei a in b auffallen, daß auf der Fläche BC eine totale Reflexion stattfindet *). Der reflectirte Strahl bD kann nun bei der Brechung in D eine solche Richtung erhalten, daß < DOS, wenn O das Auge des Beobachters und OS der von dem Auge nach der Sonne gehende Winkelschenkel ist, = 90° wird. Diese totale Reflexion wird eintreten, wenn für rothe Strahlen < abC = 39° 52′, also < baC = 80° 8′ und < SaA = 77° 6′ ist. Hierbei würde < DOS = 94° 12′; aber da der violette Kreis einige Grade näher an der Sonne liegen würde, und sich hier die rothen und violetten Strahlen mischen, so wird der Halbmesser des Hofes auf etwa 90° vermindert.



Nachdem wir gesehen haben, daß die um die Sonne oder den Mond als Mittelpunkt sichtbaren Kreise ihren Ursprung in einer Refraction haben, erkennen wir auch, warum der durch die Sonne gehende horizontale Kreis in einer Entfernung bis zu 22° matter erscheint, als in größerer Entfernung. Innerhalb des Ringes von 22° Halbmesser wird die Helligkeit des horizontalen Kreises nicht durch gebrochenes Licht verstärkt, was jedoch außerhalb dieses Ringes stattfindet.

3. Die unvollkommenen Kreise, welche die Höfe von Außen berühren.

Zur Erklärung dieser Kreise nimmt Venturi sechsseitige Eisprismen an mit sechsseitigen Pyramidenspitzen, deren Ebenen gegen die zugehörigen Seitenflächen unter 120° Neigung stehen. Brandes macht hiergegen die Ausstellung, daß, wenn dergleichen Prismen einen Bogen zur Erscheinung bringen sollen, sich mit veränderter Azimuthallage der Seite des Prismas auch die Neigung der Seitenfläche ändern müsse. Ist dies nicht der Fall, so zeigt sich nur bei einem bestimmten Azimuth ein durch Minimum der Brechung hervorgerufenes Sonnenbild, also auch nur ein einziges. Brandes bemüht sich deshalb aus horizontal liegenden Prismen das Phänomen abzuleiten. Da jedoch die Theorie auch damit noch nicht zum Abschluß gekommen sein dürfte, so verweisen wir hier auf die Durchführung dieser Idee bei Brandes selbst **). Es sei nur noch bemerkt, daß gerade bei diesen Bogen genaue Messungen wünschenswerth sind, weil nur dadurch geprüft werden kann, ob die Theorie den richtigen Weg eingeschlagen hat.

4. Die Nebensonnen und Nebenmonde.

Am häufigsten zeigen sich diese Phänomene da, wo der weiße Horizontalkreis, welcher deshalb wohl auch Nebensonnenkreis genannt wird, von dem inneren

---

*) Vergl. Art. Brechung des Lichtes. Bd. I. S. 874.

**) Gehler's physik. Wörterb., N. Bd. V. S. 494 ff.; vergl. auch Kämtz a. a. O. S. 145 ff.

Ringe geschnitten wird, und selbst dann sind dieselben wohl sichtbar, wenn von den Kreisen selbst nichts zu sehen ist. Sie haben ganz die Farben des inneren Ringes, nur sind sie meistens nach außen mit einem langen glänzenden Schweife versehen, welcher mit der Richtung des Horizontalkreises zusammenfällt. Indessen trifft ihr Ort doch nicht immer mit dem bezeichneten Durchschnittspunkte zusammen. Wäre dies der Fall, so könnte man dies Phänomen der vereinten Wirkung zweier Kreise zuschreiben. Je höher die Sonne steigt, desto mehr liegen nach Venturi die Nebensonnen außerhalb des ersten Ringes.

Venturi sucht den Grund in dem Umstande, daß die Brechung in den vertical schwebenden Prismen nicht genau in einer gegen die Kanten senkrechten Ebene erfolgt. Brandes hat diese Ansicht weiter durchgeführt *), und seine Untersuchung führt zu Resultaten, welche mit der Erfahrung befriedigend übereinstimmen. Hier sei nur angeführt, daß bei niedrigem Stande der Sonne die Ränder der vertical schwebenden Prismen fast senkrecht auf der durch die Sonne, das Auge und das Prisma gehenden Ebene liegen. In diesem Falle entsteht die Nebensonne auf dem inneren Ringe, indem das Minimum der Ablenkung auf diesen Ring allein trifft. Bei höherem Sonnenstande trifft dies Minimum noch auf einen anderen Azimuthalabstand, und es können dann an jeder Seite der Sonne zwei Nebensonnen entstehen, nämlich da, wo dieser Azimuthalabstand hinweist, und auf dem Durchschnittspunkte des Horizontalkreises und inneren Hofes.

Der Schweif, welchen diese Nebensonnen ebenfalls zeigen, entsteht wahrscheinlich dadurch, daß in der Nähe der die Nebensonne erzeugenden Prismen noch andere sind, welche der zur Bildung einer Nebensonne erforderlichen Stellung nur nahe kommen.

In ähnlicher Weise erledigt sich die Bildung der Nebensonnen auf oder in der Nähe der Stellen, an welchen der zweite Ring und die anderen Höfe den Horizontalkreis schneiden.

Am erschöpfendsten hat in neuerer Zeit Bravais über die optischen Erscheinungen, zu welchen die Wolken von Eistheilchen Anlaß geben, theoretische Untersuchungen (a. a. O.) angestellt; auch ist es demselben gelungen die Erscheinungen wenigstens theilweise durch Experimente nachzuahmen. Hier mag es genügen seine Resultate in Kürze anzugeben.

Der Ring von 22° rührt her von Flächenwinkeln von 60° bei Prismen, die keine besondere Art von Orientirung darbieten.

Die Nebensonne von 22° wird von denselben Winkeln erzeugt, wenn die Axen der Prismen senkrecht stehen.

Der circumzenithale Berührungsbogen des Ringes von 46° entsteht durch die Winkel von 90° an diesen Prismen mit senkrechten Axen.

Nehmen diese Prismen unbestimmte Richtungen an, so bildet sich durch dieselben Winkel ein Ring von 46° Radius.

Der obere und der untere Berührungsbogen des Ringes von 22° werden erzeugt durch die Winkel von 60°, wenn die Axen der Prismen horizontal liegen. Die Prismen, deren Axen ihren Fluchtpunkt 90° von der Sonne zu liegen haben, bilden den hellsten Theil dieser Bogen. Steht die Sonne hinreichend hoch, so

*) A. a. O. S. 484. Kämtz a. a. O. S. 138.

vereinigen sich diese Bögen zu einer einzigen Curve, zu einem elliptischen Ringe mit kleiner senkrechter Axe, umschrieben um den Ring von 22°.

Die seitlichen Berührungsbögen des Ringes von 46° werden erzeugt durch Winkel von 90° an Prismen mit horizontalen Axen.

Der Nebensonnenkreis entsteht aus der Reflexion an den senkrechten Flächen der Prismen, deren Axen horizontal oder vertical sind.

Die Nebensonne von 45° scheint meistens eine secundäre zu sein, gebildet durch die Nebensonne von 22°.

Die ungewöhnlichen Ringe, die ungewöhnlichen circumzenithalen Bögen rühren von den Zuspitzungsflächen her, mit welchen die Prismen zuweilen versehen sind.

Die verschiedenen Umstände des von Hall 1796 gesehenen Ringes erklären sich durch Prismen mit verticaler Axe und einer oberen Zuspitzung, deren Flächen einen Winkel von 70° 32′ mit der krystallographischen Axe bilden.

Die auf dem Nebensonnenkreise in verschiedenem Abstande von der Sonne liegenden Nebensonnen entspringen aus sternförmigen Sechs- oder Zwölfecken verschiedener Art.

Die senkrechten Säulen über der Sonne bei ihrem Aufgange entspringen aus äußerer Reflexion der Strahlen an der unteren Grundfläche, oder aus einer inneren an der oberen Grundfläche von Prismen mit senkrechter Axe, welche Prismen übrigens kleinen Schwankungen um die Verticale ausgesetzt sind.

Die Strahlen, welche 3,5 und 7 Reflexionen derselben Art abwechselnd an der oberen und unteren Grundfläche von 3,5 und 7 solcher nicht unter sich verknüpfter Prismen erleiden, tragen bei, den Glanz, so wie die Länge dieser Lichtsäule zu vergrößern.

Die Strahlen, welche 2,4 und 6 Reflexionen derselben Art erleiden, geben Anlaß zu verticalen Lichtscheinen mit gleichem oberen und unteren Arme, welche das Gestirn bis zu einer Höhe von 20 bis 25° über dem Horizont auf seiner Bahn begleiten. Wenn diese Lichtscheine sich mit einem Stücke des Nebensonnenkreises combiniren, veranlassen sie das Phänomen des Kreuzes.

Die Trugsonnen erklären sich durch verticale oder fast verticale Prismen mit fast horizontalen, um 89° 53′ gegen die Axe geneigten Zuspitzungsflächen und durch Strahlen, die nach dem Eintritt durch eine der senkrechten Flächen zwei Mal an den inneren Flächen des Winkels, von 179° 46′ reflectirt wurden, und darauf durch die der Eintrittsfläche gegenüberstehende verticale Fläche austraten.

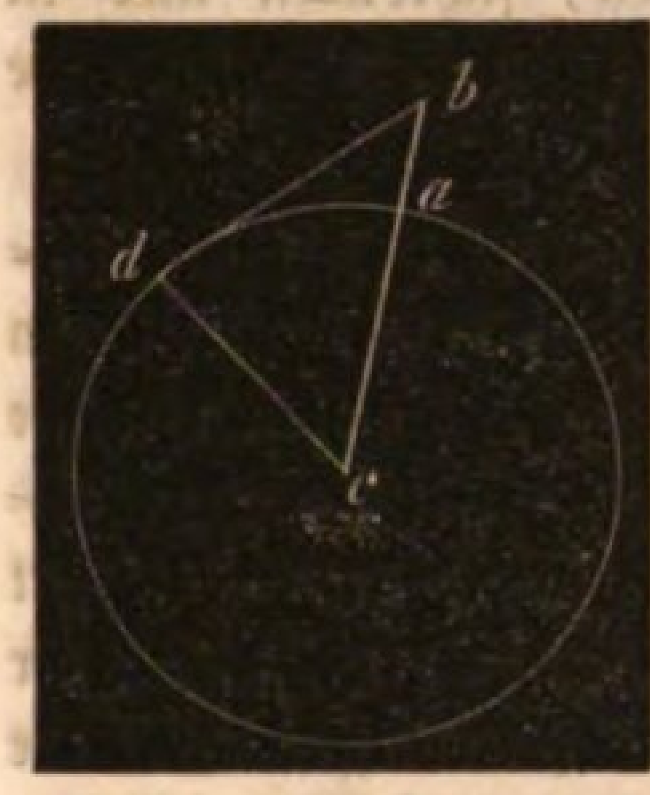
Die Gegensonne rührt her von Krystallen mit horizontaler Axe, deren verticale Grundflächen eine ihrer drei, von einer Winkelspitze ausgehenden Diagonalen vertical haben. Die Flächen, die mit dieser Diagonale parallele Kanten bilden, erzeugen dann die Gegensonne. Besitzen die Grundflächen Furchen, so kann die Gegensonne von Bögen im Andreaskreuze durchschnitten sein. Bravais zeigt, daß diese Furchen existiren können, und daß sie mit dem Horizonte Winkel von 0, 30, 60 und 90 Grad bilden müssen. H. E.

Hohlspiegel, s. Spiegel.

Horizont (v. d. griech. ὁρίζω, ich begrenze; lat. horizon, circulus finitus; franz. l'horizon; engl. horizon), Gesichtskreis heißt die Kreislinie, in welcher das scheinbare Himmelsgewölbe die Oberfläche der Erde begrenzt, und welche dem Auge des Beobachters überall auf der Erdkugel erscheint, wo nicht über die

Oberfläche emporragende Gegenstände die Aussicht beschränken. Am vollständigsten erscheint daher der Horizont auf dem Meere und auf hohen Bergen. Daß diese Grenzlinie kreisförmig sein muß, folgt aus der Kugelgestalt der Erde, und ist umgekehrt einer der Beweise für diese Kugelgestalt selbst *). Auf dem Horizonte ruht also das scheinbare Himmelsgewölbe. Der Beobachter befindet sich stets in dem Mittelpunkte desselben.

Die Fläche, welche man als von dem Horizonte begrenzt überschaut, scheint eine Ebene zu sein, ist aber ein Theil der Kugelfläche der Erde. Der Grund hiervon ist, daß die Krümmung bei der geringen Entfernung des Beobachters von der Erdoberfläche gegen den Durchmesser der Erdkugel verschwindend klein ist. Wie gering die Weiten sind, welche man von verschiedenen Höhen aus übersieht, macht besonders die Tabelle klar, welche im Art. Erde a. a. O. gegeben ist, auf welche deshalb ausdrücklich verwiesen wird. Bemerkt sei hier nur noch in Betreff der Berechnung dieser Tabelle, daß, wenn der Beobachter in b nebenstehender Figur in einer Höhe ab = h über der Erdoberfläche steht, die Entfernung, bis zu welcher derselbe die Erde übersehen kann, durch die Tangente bd gefunden wird, und daß, wenn der Halbmesser der Erde ac = r gesetzt wird,



$$\frac{r}{r + h} = \cos acd$$

ist. Da hierdurch der Bogen ad bestimmt wird, und der ganze Kreis 360.15 geographische Meilen hält, so ist mithin die Weite in Meilen gefunden. In sofern in diesem Falle die lineare Tangente bd von dem Bogen ad nicht wesentlich verschieden ist, kann man auch

$$bd = \sqrt{h(2r + h)}$$

der Berechnung zu Grunde legen.

Daß man umgekehrt bei bekannter Höhe eines Punktes die Entfernung bestimmen kann, aus welcher man über den Horizont heraustretend denselben erblicken wird, sei hier noch hervorgehoben, weil solche Fälle zur See, z. B. in Bezug auf Leuchtthürme häufig vorkommen und für den Seemann von Wichtigkeit sind. Eine interessante hierher gehörige Frage wirft auch A. v. Humboldt **) auf, wie hoch nämlich der Punkt sein müsse an der afrikanischen Küste, um von ihm aus den 1904 Toisen hohen Pic von Teneriffa, welcher im Bogen 2° 49′ von dem nächsten Punkte der Küste entfernt ist, sehen zu können. Humboldt findet mit Berücksichtigung der Strahlenbrechung (s. d. Art.), die überhaupt hierbei noch in Betracht zu ziehen ist, 209 Toisen, welche Höhe die Montanas negras unfern des Vorgebirges Bojador erreichen sollen. Die Möglichkeit der Entdeckung und Bevölkerung dieser Inselgruppe von Afrika aus ist mithin nachgewiesen.

Die durch den Horizont begrenzte scheinbare Ebene nennt man die Horizontalebene, genauer aber ist dies diejenige für einen bestimmten Ort der

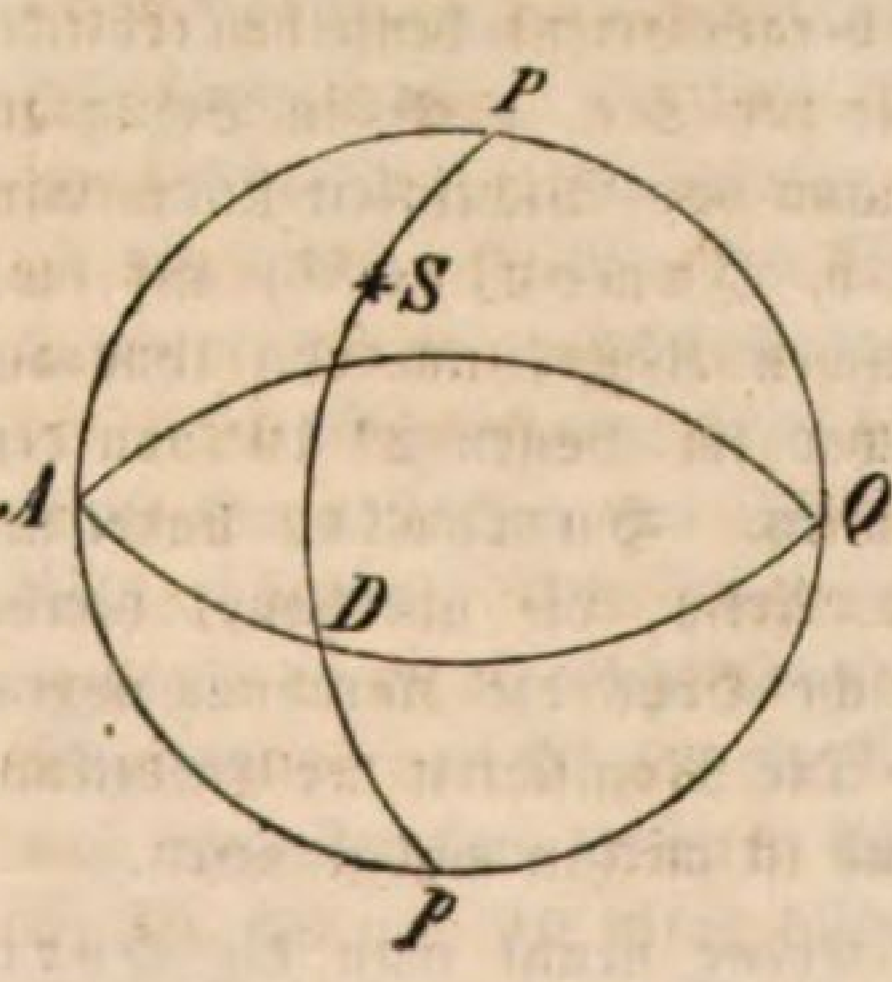
*) Vergl. Art. Erde. Bd. II. S. 870.
**) Kosmos. Bd. II. S. 413.

Beobachtung, welche auf der Falllinie, also auf der Lothrechten, für diesen Ort senkrecht steht. Eine in dieser Ebene liegende Linie heißt eine **Horizontallinie**. Ueberhaupt heißt endlich jede die Falllinie eines Ortes senkrecht schneidende Ebene eine Horizontalebene des Ortes.

Die Umgrenzung derjenigen Horizontalebene, welche das Auge des Beobachters von dem Standpunkte desselben erblickt, ist der **scheinbare Horizont**. Legt man durch den Mittelpunkt der Erdkugel eine Ebene parallel mit dem scheinbaren Horizonte, und denkt sich diese bis zu dem Durchschnitte mit der Himmelssphäre verlängert, so erhält man in dem Durchschnitte einen Kreis, welcher der **wahre Horizont** genannt wird. Der scheinbare Horizont theilt die Himmelssphäre in zwei ungleiche Theile, in einen oberen, kleineren, sichtbaren und in einen unteren, größeren, unsichtbaren. Der wahre Horizont hingegen halbirt die Himmelssphäre.

Da fast alle Himmelskörper so weit von der Erde abstehen, daß der Halbmesser der Erde dagegen verschwindet, indem z. B. die Fixsterne, man mag sie von zwei noch so entfernten Punkten der Erdoberfläche betrachten, dieselbe relative Stellung und dieselbe scheinbare Entfernung in einem gegebenen Zeitmomente beibehalten; so kann man in einem solchen Falle den wahren und scheinbaren Horizont als zusammenfallend ansehen. Befindet sich aber ein Himmelskörper, z. B. der Mond, so nahe bei der Erde, daß gegen diese Entfernung der Halbmesser der Erde keine verschwindend kleine Größe ist, so bemerkt man einen Unterschied zwischen beiden Horizonten, und der Winkel, welchen die von dem Mittelpunkte der Erde nach dem im scheinbaren Horizonte stehenden Himmelskörper gezogene Linie mit dem wahren Horizonte bildet, oder — was Dasselbe ist — unter welchem einem Beobachter auf dem Himmelskörper der Erdhalbmesser erscheinen würde, heißt die **Horizontalparallaxe** des Gestirnes. Für den Mond beträgt dieser Winkel z. B. je nach seiner Entfernung bald mehr, bald weniger als 1 Grad.

Wenn ein Gestirn über den Horizont tritt, so sagt man, es gehe auf; verbirgt sich dasselbe unter demselben, so sagt man, es gehe unter. Der Ort des Gestirnes in irgend einem Momente wird in der Astronomie bestimmt, indem man die Höhe und das Azimuth (s. d. Art. Bd. I. S. 654) als Coordinaten auf den Horizont bezieht.



Ist der Kreis ADQ der Horizont, und denkt man sich in der Mitte desselben eine Verticale errichtet, so heißt diese die **Axe** sowohl des scheinbaren, als des wahren Horizontes. Die verlängerte Axe trifft auf der oberen Seite der Himmelssphäre in das **Zenith** oder den **Scheitelpunkt** des Beobachters, auf der unteren Seite in das **Nadir**; in der Zeichnung würde P das Zenith und p das Nadir sein. Beide Punkte sind die von dem Horizonte am weitesten entfernten, nämlich überall 90°; sie führen auch den Namen der **Pole** des Horizontes. Legt man durch einen Stern S und die Pole des Horizontes einen Kreis PSDp, so heißt dieser **Scheitel- oder Verticalkreis**. Der zwischen dem Stern und dem Horizonte

liegende Bogen dieses Kreises, also SD, ist die Höhe des Sternes. Ein durch den Stern mit dem Horizonte parallel gelegter Kreis heißt Höhenkreis oder Almucantharat. Die Höhenkreise werden um so kleiner, je näher sie den Polen des Horizontes liegen.

Das Azimuth wird durch einen Bogen des Horizontes bestimmt, und zwar liegt dieser Bogen zwischen den beiden Scheitelkreisen, von denen der eine genau durch Süden und der andere durch den Stern geht. Genauer ist dieser Bogen eigentlich das Maß für den zwischen diesen beiden Kreisen am Zenith liegenden Winkel und dieser also eigentlich das Azimuth.

Südpunkt und Nordpunkt sind die Durchschnittspunkte zwischen dem Horizonte und dem Meridiane; Ostpunkt und Westpunkt sind hingegen diejenigen mit dem Aequator. Die hierauf sich gründende Eintheilung des Horizontes ist die nach den Weltgegenden. Die eben genannten vier Punkte sind die Cardinalpunkte. Genau in der Mitte zwischen ihnen liegen die vier Nebenhimmelsgegenden: SW., NW., NO. und SO.; zwischen denen genau in der Mitte noch 8 untergeordnete Himmelsgegenden unterschieden werden: SSW., WSW., WNW., NNW., NNO., ONO., OSO und SSO. Halbirt man die zwischen den so erhaltenen 16 Gegenden liegenden Winkel nochmals, so erhält man noch 16 Unterabtheilungen, deren Namen aus der Himmelsgegend gebildet werden, welche von den beiden, zwischen denen sie liegen, der Ordnung nach die höhere ist, mit Hinzufügung des nächsten Cardinalpunktes durch das Wörtchen „gen" oder „zu"; z. B. SO. gen O. oder SO. zu O. liegt zwischen SO. und OSO.; eben so S. gen W. oder S. zu W. zwischen S. und SSW. Führt man die Eintheilung durch Halbiren noch weiter, so nennt man die so erhaltenen Theile Striche, deren mithin 64 auf den ganzen Umkreis gehen. Dieser Eintheilung bedienen sich die Seeleute, und eine Abbildung des so eingetheilten Horizontes nennt man eine Windrose, weil auch die Winde nach der Gegend, aus welcher sie wehen, hiermit übereinstimmend ihre Namen erhalten. In der Astronomie ist die Eintheilung des Horizontes in 360° die gebräuchliche, wobei man das Azimuth von S. an als östliches oder westliches bestimmt.

Außer dem Azimuth giebt man in Graden des Horizontes noch die Morgen- und Abendweite an. Jene wird von O. an nach S. oder N., diese von W. an ebenfalls nach S. oder N. gezählt, und man versteht darunter den Bogen, welcher in jenem Falle von O. bis zu der Stelle geht, an welcher ein Himmelskörper aufgeht, in diesem von W. bis zu derjenigen, an welcher derselbe untergeht.

Da der Horizont an jeder Stelle der Erdkugel, als eine diese berührende Ebene, eine andere Lage hat, so ist auch an jeder Stelle der Erde die Lage des Horizontes zu der Himmelssphäre eine andere. Man unterscheidet daher die gerade oder senkrechte, die schiefe und die parallele Sphäre. Unter dem Aequator steht der Horizont senkrecht zu demselben, alle Sterne gehen für die dortigen Bewohner unter rechten Winkeln mit dem Horizonte auf und unter, und die Himmelspole liegen in dem Horizonte. Hier ist also die gerade oder senkrechte Sphäre. An jedem Erdpole ist der Horizont mit dem Aequator parallel, die Sterne scheinen mit dem Horizonte parallel zu laufen und der eine Himmelspol liegt im Zenith, der andere im Nadir, woher es denn auch kommt, daß man nur die Sterne der einen Hälfte der Himmelssphäre stets, die der anderen nie erblickt, und daß von einem Auf- und Untergehen der Sterne hier nicht die Rede sein kann.

Diese Sphäre würde die parallele sein. An allen Stellen zwischen dem Aequator und den Polen haben die Bewohner die schiefe Sphäre, indem der Horizont den Aequator schneidet. Der scheinbare Lauf der Sterne ist hier nicht senkrecht zum Horizonte, aber demselben auch nicht parallel; ein Pol ist immer über, der andere immer unter dem Horizonte; einige Sterne befinden sich stets über dem Horizonte, andere nie, noch andere gehen täglich auf und unter. Die Verschiedenheit in der Tag- und Nachtlänge an den verschiedenen Stellen der Erdoberfläche steht hiermit in innigem Zusammenhange.

Ueber die Beziehung des Dämmerungskreises zu dem Horizonte vergl. Art. Dämmerung Bd. II. S. 15. H. E.

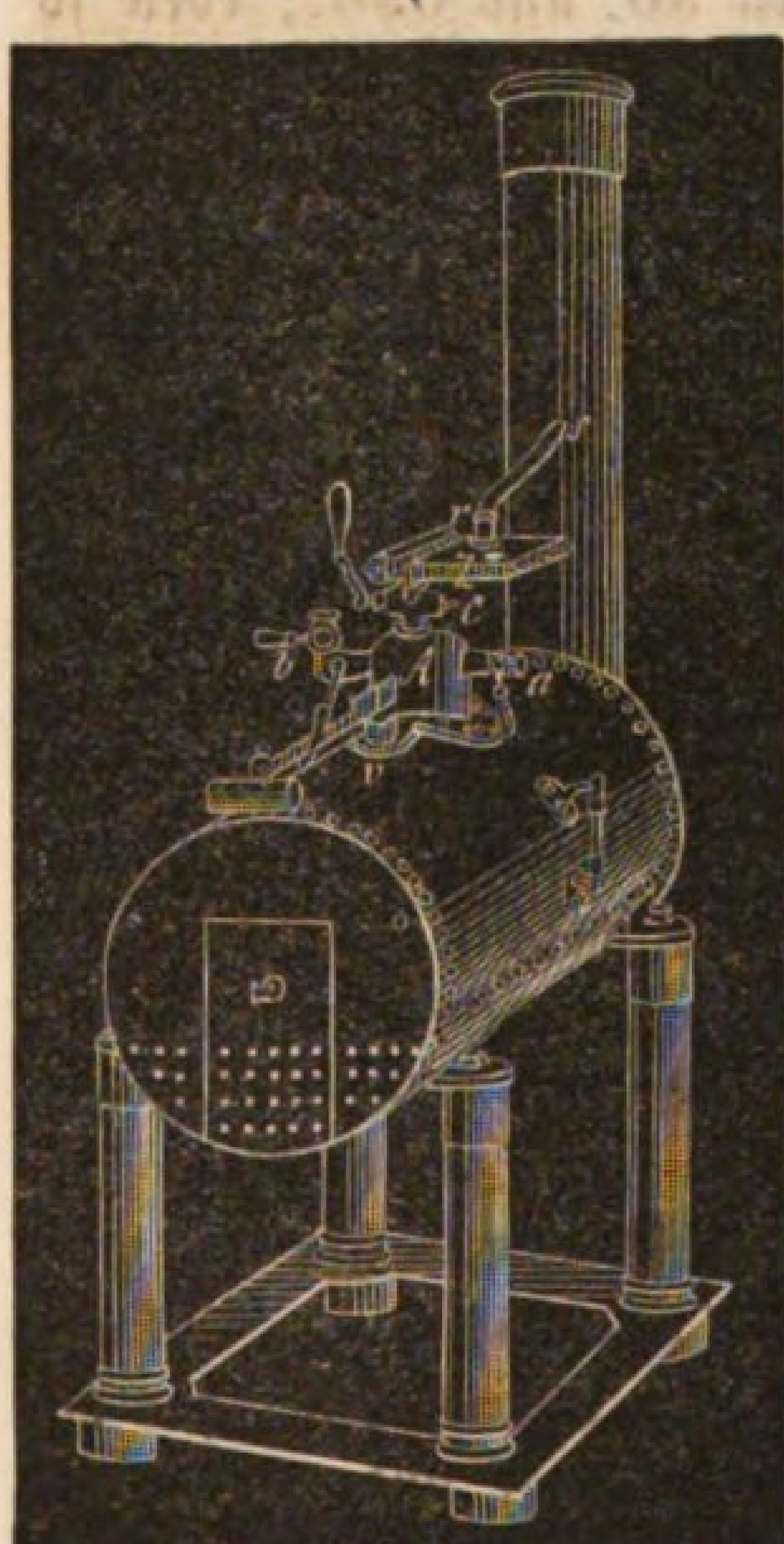
Hydraulik, s. Mechanik tropfbar flüssiger Körper.

Hydraulischer Widder, s. Stoßheber.

Hydrodynamik, s. Hydraulik.

Hydroelektrisirmaschine. Die Erfahrung, daß beim Ausströmen des Wasserdampfes aus Dampfkesseln eine Elektricitätsentwickelung stattfindet, veranlaßte die Construction einer sehr wirksamen Elektrisirmaschine, der man den eben aufgeführten Namen gegeben hat. Die Ursache dieser Elektricitätserregung ist die Reibung der vom Dampfe fortgeführten Wassertheilchen an den Wänden der Ausströmungsröhre, wie im Artikel Elektricität genauer aus einander gesetzt worden ist. Die Einrichtung der Maschine selbst zeigt nebenstehende Fig. I. *). Der auf Glassäulen isolirte Dampfkessel wird bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser gefüllt und von innen geheizt. An dem eisernen Hut A bemerkt man zwei horizontale Hähne a und b, und einen verticalen Hahn c, welche Fig. II., die einen Durchschnitt des Kessels giebt, deutlicher darstellt. An die Hähne a und b lassen sich gußeiserne Röhren (Fig. III. in $\frac{1}{2}$ Größe) anschrauben, und durch die Mündung s in dem messingenen Kopfe q q, der an das Metallstück p p geschraubt ist, strömt der Dampf aus. p p, das mit einer Mutter versehen ist, ist auf die Röhre festgelöthet, und in den Kopf ist ein hohler messingener Cylinder geschraubt, der bei m massiv und eingeschnitten ist. Der Dampf muß nun hier zunächst durch einen schmalen Sägeschnitt und dann durch ein enges Loch gehen, bevor er in den durchbohrten Cylinder x x aus hartem Holze und von da nach s gelangen kann. v Fig. I. ist ein Sicherheitsventil, das man bei den Versuchen bis zu 6 Atmosphären belastet. Vor Anstellung der Versuche läßt man den beweglichen Rauchfang (Fig. I.) auf das Kamin herab, um Rauch im Zimmer zu vermeiden, und zieht ihn dann, der besseren Isolirung wegen, wieder in die Höhe. Hat nun der Dampf

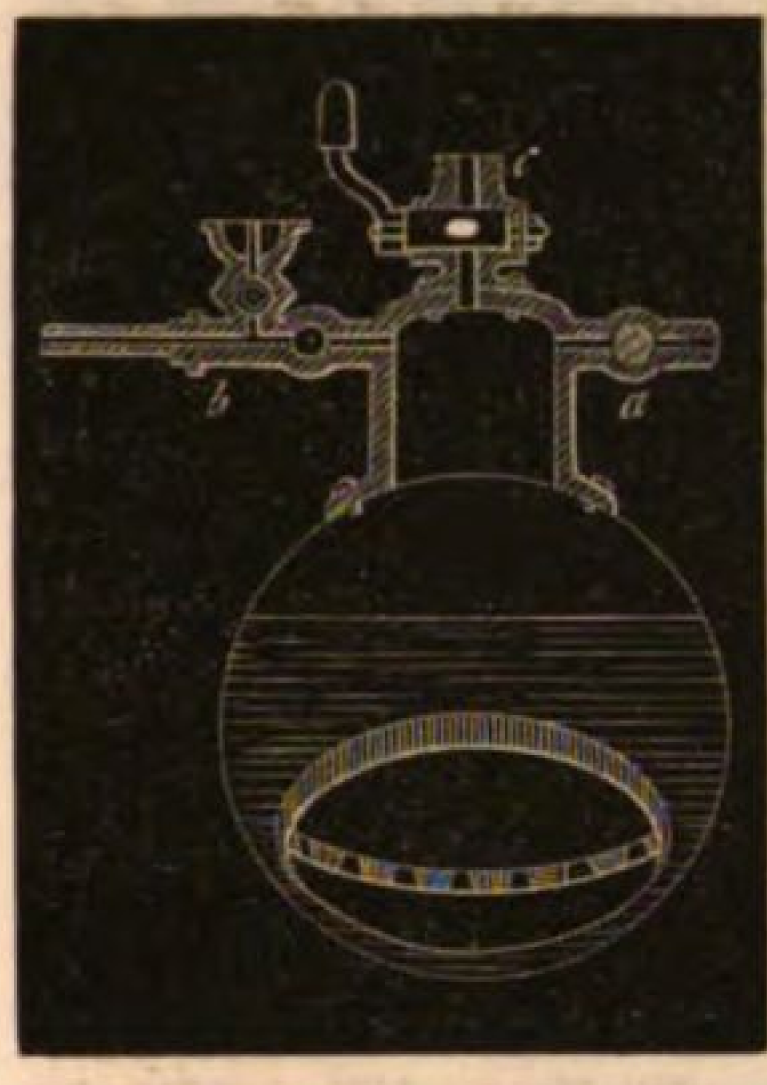
I.



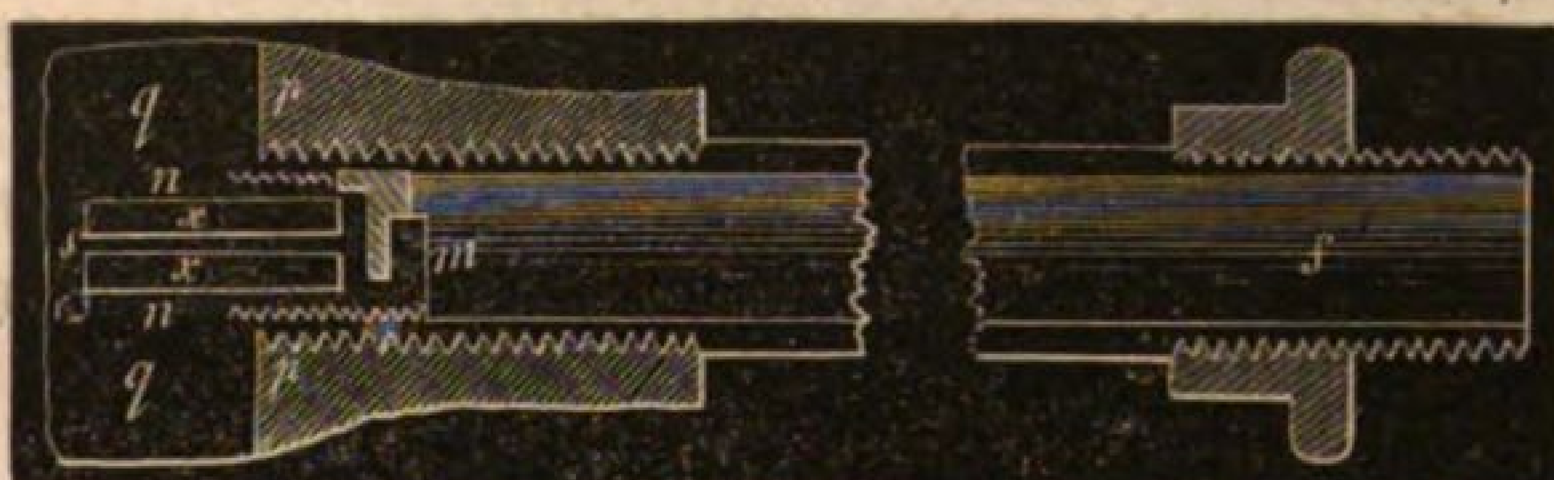
*) Eisenlohr's Physik. Stuttgart 1852. S. 484.

die gehörige Spannung erreicht, so werden die Hähne a und b geöffnet, wo dann ein Theil des ausströmenden Dampfes an ihren inneren Wänden verdichtet wird. Der nachströmende Dampf treibt alsdann die Wassertheilchen durch den Sägeschnitt in das Holzröhrchen, an dessen Wänden sie heftig gerieben werden, wodurch dann der Kessel negativ-, der Dampf hingegen positiv-elektrisch wird. Um das Maximum der Wirkung zu erhalten, kommt es auf eine vollständige Trennung dieser entgegengesetzt elektrischen Zustände an, weshalb man entweder den Kessel oder den Dampf mit der Erde in leitende Gemeinschaft setzen muß. Der positiv elektrische Zustand des Dampfes läßt sich gewinnen, wenn der letztere gegen ein Drahtgitter strömt, das mit Spitzen versehen und auf einem isolirten Conductor befestigt ist. Zur Erzielung der größten Wirksamkeit der Maschine pflegt man jedoch diesen Conductor mit der Erde leitend zu verbinden und nur den Kessel möglichst vollständig zu isoliren. Die Wirkung kann überdies gesteigert werden durch Vermehrung der Ausströmungsröhren, indem man auf den Hahn c eine Vorrichtung mit sechs kurzen Röhren schraubt, an denen sich die Ausmündungsröhren befinden. Damit in diesen Röhren ein Theil des Dampfes verdichtet werde, sind dieselben in ein mit Wasser gefülltes

II.



III.



Metallgefäß eingeschlossen. Die Dämpfe, welche aus dem hier condensirten Wasser sich bilden, entweichen durch das Messingrohr r s (Fig. I.) in das Kamin, und ein zur Seite angebrachtes Glasrohr giebt die Höhe des Wasserstandes in dem Verdichtungsapparate an. Durch die Oeffnung z kann von Neuem Wasser eingegossen werden. Zur Erzielung starker Wirkungen ist erforderlich, daß das Wasser im Kessel möglichst rein ist und die Kanäle frei von Oel und Fett sind. Die Holzcylinder müssen vorher gehörig mit destillirtem Wasser durchzogen werden, und der Apparat, welcher den elektrischen Zustand des Dampfes aufnimmt, muß in einer angemessenen Entfernung (nicht zu nahe und nicht zu ferne) aufgestellt sein. Eine riesige Maschine dieser Art besitzt das polytechnische Institut zu London. Dieselbe hat eine Länge von $6^1/_2$ Fuß und einen Durchmesser von $3^1/_2$ Fuß, und 46 Ausströmungsmündungen. Die Funken, welche sie giebt, sind mitunter 22 Zoll lang. Uebrigens ist die Schlagweite wegen der großen und unebenen Oberfläche des Apparates und weil auch durch das Kamin viel Elektricität verloren geht, nicht so groß, als man sonst wohl erwarten sollte. Die größte Wirkung zeigt der Apparat, wenn die von ihm entwickelte Elektricität als Strom auftritt.

Hindert man die Verdichtung des ausströmenden Dampfes, so entwickelt sich keine Elektricität. Es läßt sich dies leicht zeigen, wenn man nur eine Ausströmungsröhre anwendet und diese stark erhitzt. Erhöht man die Leitfähigkeit des Wassers durch Einbringen von Salzen, Säuren und Alkalien, so wird die Wirkung geschwächt, indem wegen der besseren Leitung auch mehr Veranlassung zur Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände zwischen dem reibenden und geriebenen Körper gegeben ist. Füllt man das Gefäß über dem Hahne b mit Terpentinöl oder Baumöl und dergleichen und bringt man durch Drehung des oberen Hahnes nach und nach einige Tropfen in die Ausströmungsröhre, so wird der Kessel in Folge der Reibung des Oeles am Holze positiv, der Dampf aber negativ elektrisch.

Bringt man das eine Drahtende eines Multiplicators mit dem Kessel, das andere mit den Spitzen des isolirten Conductors in leitende Verbindung, so erfolgt eine Ablenkung der Magnetnadel. Um Wasser mit Hülfe der Hydroelektrisirmaschine zu zersetzen, kann man zwei sehr feine, in gläserne Haarröhrchen eingeschmolzene Platindrähte anwenden, indem man den einen mit dem Kessel, den anderen mit dem erwähnten Conductor leitend verbindet. Die anderen Enden der Platindrähte befinden sich einander sehr nahe in einem mit Wasser gefüllten Glasrohre. Armstrong stellte zum Behufe chemischer Zersetzung (durch diese Maschine) zehn Kelchgläser in eine Reihe und führte in das erste Glas einen Platindraht, der sich in einer Glasröhre befand, und mit dem Kessel in leitende Gemeinschaft gesetzt wurde. Dieses Glas stand mit dem folgenden durch einen nassen Baumwollenfaden in Verbindung, und so auch die folgenden abwechselnd durch Glasröhren mit eingeschobenen Platindrähten oder durch nasse Fäden, bis auf den Draht des letzten Glases, welcher als positiver Pol mit einer Bleiröhre verbunden war, die in einen Brunnen gesenkt war. Die Gläser waren mit verschiedenen elektrolytischen Flüssigkeiten gefüllt. Bei dieser Anordnung ist natürlich der Conductor, welcher die positive Elektricität des Dampfes aufnimmt, mit der Erde leitend zu verbinden.

Hydrographie, s. Hydrologie.

Hydrologie ist die Lehre von den Erscheinungen, welche der tropfbarflüssige Theil der Erde, das Wasser, darbietet, während die Hydrographie die räumliche oder geographische Verbreitung desselben beschreibt. Man vergleiche die Art. Quellen, Ströme, Meer und Seen.

Hydrostatik, s. Statik tropfbar flüssiger Körper.

Hygrometer, Hygroskop (v. d. griech. ὑγρός, naß, feucht), Notiometer (v. d. griech. νότιος, naß, feucht), auch Psychrometer (v. d. griech. ψυχρός, kalt), Feuchtigkeitsmesser, ist ein Instrument die Feuchtigkeit der atmosphärischen Luft entweder nur im Allgemeinen anzuzeigen (Hygroskop), oder auf eine mit anderen Feuchtigkeitszuständen vergleichbare Weise anzugeben.

In dem Art. Atmosphäre Bd. I. ist namentlich hervorgehoben (S. 496), daß die Erde zugleich eine Luft- (Gas-) Atmosphäre und eine Dampfatmosphäre besitzt, daß beide zusammenwirken, um einen gemeinschaftlichen Druck auf die feste und flüssige Erdoberfläche auszuüben, und daß der Barometerstand dem Gesammtdrucke beider Atmosphären entspricht. Bei allen Untersuchungen, welche den atmosphärischen Druck zu einem Faktor haben, ist mithin der Feuchtigkeitsgehalt der

Luft zu berücksichtigen, und zwar um so mehr, als sowohl der Druck der Luft-, als auch der Dampfatmosphäre von der Temperatur, aber in entgegengesetzter Weise, abhängig ist, indem, wenn in einer Luftatmosphäre das Thermometer steigt, das Barometer fällt und umgekehrt (S. 494), hingegen in einer Dampfatmosphäre das Steigen und Fallen des Thermometers mit Steigen und Fallen des Barometers verbunden ist (S. 496). Die auf die Dampfatmosphäre bei Erklärung der Barometerschwankungen zu nehmende Rücksicht (S. 512) ergiebt sich hieraus von selbst. Welche Resultate die bisherigen Untersuchungen in dieser Beziehung geliefert haben, darüber verweisen wir auf den angeführten Artikel S. 537 ff.; hier haben wir es nicht hiermit, nicht mit den Resultaten der Hygrometrie, sondern mit den Methoden, mit den Instrumenten, den Hygrometern, zu thun, durch welche die Resultate gewonnen werden.

Aus den Wirkungen schließen wir zurück auf die veranlassenden Kräfte. Wirkungen, bei welchen wir auf die Feuchtigkeit als Ursache zurückzugehen haben, giebt es unzählige. Es sind dies Veränderungen an den Körpern, welche sich an dem Gewichte oder an dem Umfange derselben zeigen. Alle nicht gedrehten häutigen und sehnigten Theile der thierischen Körper, eben so die Pflanzenfasern werden durch Feuchtigkeitszunahme vergrößert und länger, z. B. Leder, Pergament, Papier, Holz, Schwamm, Wolle ꝛc.; dagegen werden alle gewundenen oder gedrehten Körper, z. B. Zwirn, Bindfaden, Stricke, Schnüre von Hanf, Flachs oder Seide, Darmsaiten ꝛc. kürzer und drehen sich nach der Größe der Feuchtigkeit auch um eine gewisse Größe herum. In allen Fällen zeigt sich bei gesteigerter Feuchtigkeit eine Gewichtszunahme, im entgegengesetzten Falle eine Abnahme; besonders auffallend ist diese z. B. beim Schwamme und bei vielen unorganischen Stoffen, z. B. beim Kochsalze, Chlorcalcium ꝛc., auch bei vielen Säuren, z. B. der Schwefelsäure. Alle diese, sogenannten hygroskopischen Substanzen gestatten also einen Schluß auf die Veränderungen im Feuchtigkeitszustande, und da man eine jede derselben zu einem hygroskopischen Apparate benutzen kann, so ergiebt sich, daß die Anzahl derselben sehr groß sein wird.

Indessen, so wie die Mechanik lange Zeit still stand, weil man die Fragen nicht richtig zu stellen wußte, so auch im vorliegenden Falle. Bei einer schiefen Ebene habe ich nicht zu fragen: Welche Kraft ist erforderlich, um eine gegebene Last auf derselben empor zu bewegen? sondern: Wie groß ist die Kraft, durch welche die Last auf ihr im Gleichgewichte erhalten wird? Eben so ist hier die Frage so zu formuliren: Welches Quantum von Feuchtigkeit ist ein bestimmter Raum unter bestimmten Verhältnissen aufzunehmen höchstens fähig, oder welche Expansivkraft erreicht der Dampf unter bestimmten Verhältnissen höchstens *). Diese Frage ist zuerst genügend beantwortet worden durch Dalton im Jahre 1805 **), wenn gleich vielleicht Betancourt der Erste gewesen sein mag, welcher Beobachtungen über die Elasticität des Dampfes angestellt hat ***). Seit Dalton hat also die Hygrometrie erst eine feste Grundlage gewonnen.

---

*) Vergl. Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 538 ff. Art. Dampf. Bd. II. S. 88 ff.

**) Memoirs of the liter. and phil Soc. of Manchester 1805. T. V. p. 535. Gilbert's Ann. Bd. XV. S. 1.

***) Memoire sur la force expans. de la vapeur. Par. 1792.

Die allgemeine Aufgabe der Hygrometrie besteht nämlich in der Bestimmung der Menge von Wasserdampf, die zu irgend einem Zeitpunkte in einem gegebenen Luftvolumen enthalten ist, und des Verhältnisses zwischen dieser Menge und der sie einschließenden Luftmenge, wenn sie die größtmögliche Menge davon enthält, d. h. damit gesättigt ist.

In dem Folgenden sollen nun zunächst die Apparate behandelt werden, welche zur Lösung dieser Aufgabe dienen; dies sind die Hygrometer. Am Schlusse sollen die früher benutzten unvollkommenen Apparate, die Hygroskope, eine kurze, mehr historische, Erledigung finden.

A. Hygrometer.

Den Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre so zu bestimmen, wie es die Aufgabe der Hygrometrie erfordert, dienen drei verschiedene Methoden: 1) die chemische; 2) die der Condensation und 3) die des Psychrometers.

Alle diese Methoden setzen die genaue Kenntniß gewisser physikalischer Gesetze und mehrerer Zahlenangaben voraus, nämlich:

Eine richtige Tafel über die Spannkräfte des Wasserdampfes beim Sättigungszustande der Luft für alle Temperaturen der Atmosphäre *).

Die Dichte des Wasserdampfes gegen Luft unter gleichen Umständen genommen, wenn die Luft mit Dampf gesättigt ist **).

Die Dichte desselben Dampfes, wenn die Luft mehr oder weniger unvollständig mit ihm gesättigt ist ***).

1. Die chemische Methode.

Was diese Methode anbelangt, können wir sie hier durch das als erledigt ansehen, was im Art. Dampf S. 177 und 178 über dieselbe bereits angeführt ist. Anderson, Brunner, Schmedding und besonders Regnault ****) haben sich um diese Methode verdient gemacht; auch gehört hierher Andreas *****), welcher gefunden hat, daß Pulver von recht trockenem schwarzen Manganoxyd und eben so von schwefelsaurem Kalk ein noch größeres Absorptionsvermögen haben, als geschmolzenes Chlorcalcium, dessen sich übrigens schon Guyton de Morveau †) zu gleichem Zwecke bediente. Regnault bemerkt hierüber noch: „Die chemische Methode giebt nicht die Menge Feuchtigkeit, welche zu einem bestimmten Zeitpunkte in der Luft vorhanden ist, sondern die mittlere Menge, welche die Luft während des Versuchs enthält. Uebrigens ist diese Me-

---

*) Vergl. Art. Dampf. Bd. II. S. 118 ff., namentlich die Tabelle von Regnault auf S. 132. Poggend. Ann. Ergänzungsb. II. oder LXXII. b. S. 176, auch Bd. I. Atmosphäre. S. 541 — 546.

**) Vergl. Art. Dampf. Bd. II. S. 155 — 179. Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 141 ff., auch Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 544 ff.

***) Vergl. Art. Dampf. Bd. II. S. 155 — 179. Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 141 ff., auch Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 544 ff.

****) Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 148 u. 321.

*****) Instit. 1851. No. 924. p. 302.

†) Ann. de chim. T. LXVIII. p. 5. Gilb. Ann. Bd. XXXI. S. 417.

thode ganz strenge und zum Studium des Ganges anderer Hygrometer sehr nützlich. Allein sie ist zu umständlich, als daß sie in meteorologischen Observatorien oft angewandt werden könnte."

2. Die Methode der Condensation.

Im Art. Atmosphäre Bd. I. S. 540 ist ausgeführt, welche Veränderungen mit dem Dampfe vorgehen, wenn eine Veränderung der Temperatur oder des atmosphärischen Druckes oder beider zugleich eintritt. Worauf es hier besonders ankommt, ist: Bleibt der Druck gleich und sinkt die Temperatur, so kann Niederschlag erfolgen und erfolgt gewiß, wenn der Dampf im Maximum war.

Hierauf gründet sich das Condensations-Hygrometer. Die Florentiner Academie *) füllte ein gläsernes Geschirr, welches die Gestalt eines umgekehrten Kegels hatte, mit Eis oder Schnee. Es erfolgte auswendig ein Niederschlag und das herabfließende Wasser wurde in einem untergestellten Gefäße gesammelt und sorgfältig gemessen.

Aehnlich verfuhr der Abt Fontana **). Er nahm eine Glasplatte von bekanntem Gewichte, erkaltete sie bis auf einen gewissen Grad und setzte sie so eine bestimmte Zeit lang der freien Luft aus. Aus der Gewichtszunahme der Glasplatte schloß er auf den Grad der Luftfeuchtigkeit.

Le Roy, von Montpellier ***), nahm ein Glas mit Wasser von der nämlichen Temperatur als die freie Luft, ließ es ganz langsam erkalten durch nach und nach zugegossenes eiskaltes Wasser, bemerkte den Grad der Kälte, bei welchem das Glas an der äußeren Fläche trüb zu werden oder, wie man sagt, zu schwitzen anfing, und schloß aus der Größe dieses Grades auf die Menge von Feuchtigkeit, welche die Luft bei ihrer eigentlichen Temperatur enthielt.

Das Erforderniß von Eis oder Schnee, überhaupt die Schwierigkeit die erforderliche Temperaturerniedrigung immer hervorbringen zu können, war wohl die Veranlassung, daß man diesen richtigen Weg wieder verließ und sich der Verbesserung der Hygroskope zuwandte.

Bezeichnet t die Temperatur der umgebenden Luft, t′ die des Wassers im Gefäße, e und e′ die diesen Temperaturen entsprechenden Expansivkräfte des Wasserdampfes, so giebt $\frac{e'}{e}$ die Sättigungsstufe der Luft an ****). Besitzt man also die nöthigen Tabellen über die Expansivkraft, so läßt diese Methode nichts zu wünschen übrig. Daß dergleichen Tabellen erst seit 1803 entworfen worden sind, ist bereits oben erwähnt; aber erst 1819 ist ein sich auf die angegebene Beobachtungsmethode gründendes brauchbares Instrument angegeben und ausgeführt worden. Es ist dies das Condensations-Hygrometer oder Thermohygrometer (nach Suerman) von Daniell *****), auf dessen Construction derselbe namentlich durch

---

*) Tentamina experimentorum natural. captorum in acad. del Cimento ex edit. Petri van Muschenbroek, Lugd. Bat. 1731. Antinori p. 45.

**) Saggio del Real Gabinetto di Firenze. p. 19.

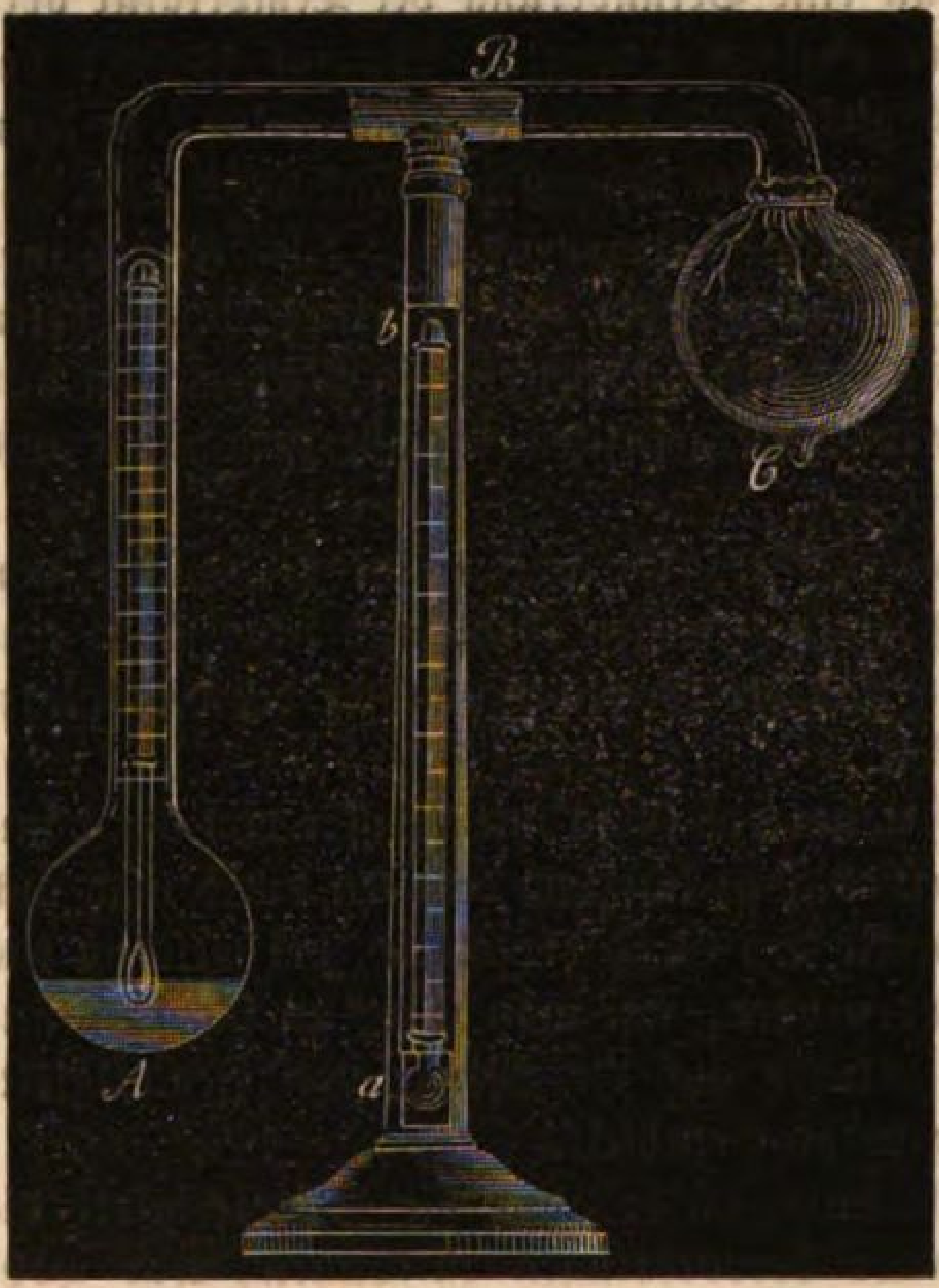
***) Mémoir. de l'Acad. Roy. des sc. de Paris 1751.

****) Vergl. Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 548 u. 549.

*****) Gilbert's Ann. Bd. LXV. S. 169 aus Quarterly Journ. of Science. 1820. Jan.

Wollaston's Kryophor *) geführt wurde. Soldner **) hatte schon früher ein solches Instrument in Vorschlag gebracht, ohne jedoch verdiente Beachtung zu finden.

Das Daniell'sche Hygrometer besteht aus zwei Kugeln von dünnem Glase, ungefähr $1^1/_4$ Zoll im Durchmesser, die sich an den Enden einer $1^1/_2$ Linien weiten Glasröhre befinden, welche über jeder der Kugeln unter einem rechten Winkel gebogen ist, so daß sie einen langen und einen kurzen Arm bildet, wie an nebenstehender Figur näher zu sehen ist.



Der längere Arm schließt ein kleines Thermometer in sich, dessen Quecksilbergefäß bis tief in die Kugel A herabreicht. Nachdem man den untersten Theil der Kugel C in ein Haarröhrchen ausgezogen und die Kugel A zu $^2/_3$ mit Aether gefüllt hat, bringt man diesen Aether in ihr über einer Lampe zum Kochen und schmelzt, wenn die Aetherdämpfe alle Luft aus dem Instrumente zu der Oeffnung des Haarröhrchens herausgetrieben haben, dieses vor der Glasbläserlampe zu. Ist der Proceß gelungen, so muß, wenn man das Instrument nach dem Erkalten umkehrt und die Kugel A in die Hand nimmt, aller Aether in die andere Kugel C hinüber getrieben werden, und in ihr in heftiges Aufwallen gerathen. Man versieht dann die Kugel C mit einem Ueberzuge von Mousselin und bringt das Instrument in der in der Figur abgebildeten Lage auf das Fußgestell, an dessen Säule ein kleines, mit dem in der Röhre A befindlichen genau übereinstimmendes Thermometer a b angebracht ist. Die federnde messingene Hülse bei B hält das Instrument, ohne zu verhindern, daß es sich hin und her schieben und leicht herausnehmen oder umdrehen läßt.

Die Beobachtung mit diesem Instrumente wird auf folgende Weise ausgeführt. Nachdem man durch die Wärme der Hand oder durch Umlegen allen Aether in die Kugel A getrieben hat, stellt man es so auf, daß die Kugel A sich in der Höhe des Auges befindet, und tröpfelt dann einige Tropfen Aether auf die mit Mousselin überzogene Kugel C. Die durch das Verdunsten dieses Aethers entstehende Kälte condensirt anhaltend und schnell den in der Kugel C befindlichen Aetherdampf und bringt dadurch in dem Aether der Kugel A ein schnelles Verdunsten und also ein Sinken der Temperatur hervor, welches das Thermometer bei A anzeigt. Diese Wirkungen sind fast augenblicklich; denn schon wenige Secunden

*) Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 174.
**) Gilb. Ann. Bd. XXXII. S. 219.

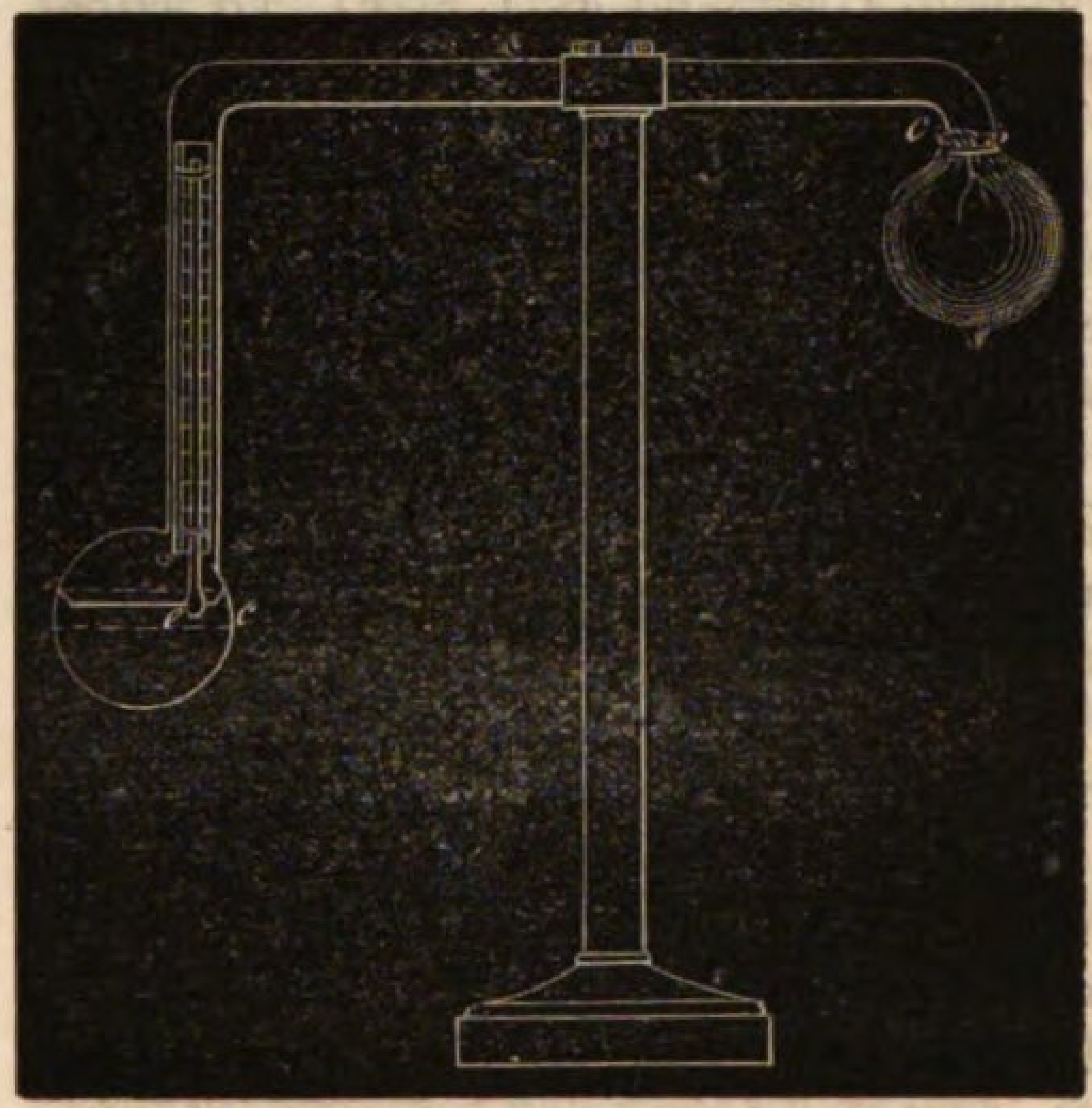
nach dem Auftröpfeln des Aethers fängt das Thermometer an herabzugehen. Sobald A soweit erkältet ist, daß sich an der Kugel rings um die Oberfläche des Aethers ein schmaler Thauring durch die Condensation des in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampfes bildet, beobachtet man das Thermometer in A. Durch diese Beobachtung findet man also diejenige Temperatur (t′ s. oben), bei welcher Niederschlag des Wassers oder vollkommene Sättigung der Luft durch Wasserdampf stattfindet, und da das Thermometer an dem Stative die Temperatur der umgebenden Luft (t) angiebt, so kann man nun die angegebene Rechnung anstellen.

Diese im Wesentlichen von Daniell selbst herrührende Beschreibung ergänzen wir noch durch Folgendes. Das kleine Thermometer in A erhält am besten ein cylindrisches Gefäß, und die Scala muß wenigstens bis zum Siedepunkte des Schwefeläthers, also mindestens bis 36° C. reichen. Die Scala darf nicht mit Druckerschwärze oder aufgelöstem schwarzen Siegellack geschrieben werden, weil der Aether diese Substanzen auflöst, sondern man thut am besten, wenn man dazu feinen Tusch mit Leimwasser abgerieben anwendet. Die Scala schreibt man, damit sie transparent ist, auf Pergament oder Elfenbein. — Ist die Kugel A geblasen, so bringt man zunächst das Thermometer in die Röhre, biegt dann einen Zoll über diesem die Röhre unter einem rechten Winkel um, und bläst hierauf am anderen Ende die Kugel C, die man in ein sehr enges dünnes Röhrchen enden läßt. Jetzt erst macht man die zweite Biegung in etwa 5 Zoll Entfernung von der ersten. — Um nun das Instrument zu füllen, hält man die Kugel A über glühende Kohlen oder über eine Spiritusflamme, damit etwas Luft herausgetrieben werde, beachtet dabei aber stets den Stand des inneren Thermometers, um die Temperatur nicht über die Gebühr zu steigern und das Thermometer zu sprengen. Jetzt taucht man das Röhrchen bei C in Schwefeläther. Den in Folge der Abkühlung eingedrungenen Aether kann man leicht in die Kugel A durch Neigen der Röhre bringen. Durch wiederholtes Erwärmen füllt man so die Kugel A bis zu $^2/_3$ ihres Inhaltes und schreitet dann zum Luftleermachen des Instrumentes. Deshalb hält man die mit Aether gefüllte Kugel A wieder über eine Spiritusflamme, sorgt aber dafür, daß eine gut unterhaltene Stichflamme in der Nähe ist. Der bald kochende Aether treibt die Luft heraus, und diese ist vollständig entfernt, sobald der ausströmende Dampf sich entzünden läßt. Ist die Kugel A nur noch zur Hälfte gefüllt, so schmilzt man eilig die offene Spitze des Röhrchens bei C durch die Stichflamme zu. — Gleich nach dem Abkühlen des Apparates thut man gut, die Kugel C mit Mousselin zu überziehen und einen vorläufigen Versuch anzustellen. Gelingt dieser nicht, so ist das Instrument entweder nicht luftleer, oder der in demselben befindliche Aether ist durch das Kochen zu sehr geschwächt worden. Dann muß man die Spitze wieder öffnen, neuen starken Aether einfüllen und das ganze Verfahren wiederholen. Erst wenn man das Instrument bei einer vorgenommenen Probe wirksam findet, kann man die Spitze an der Kugel besser und auf eine dauerhaftere Art zuschmelzen.

Um das Beschlagen des Glases sogleich beim ersten Anfluge von Flüssigkeit zu bemerken, hat man in England die Kugel, in welcher sich das Thermometer befindet, an ihrem unteren Theile aus schwarzem Glase verfertigt. Greiner in Berlin dagegen umgiebt die Kugel auswärts in ihrer Mitte mit einer $1^1/_2$ Linie breiten Zone des feinstpolirten Goldes. Die letztere Vorrichtung verdient schon darum den Vorzug, weil sie sich leichter herstellen läßt.

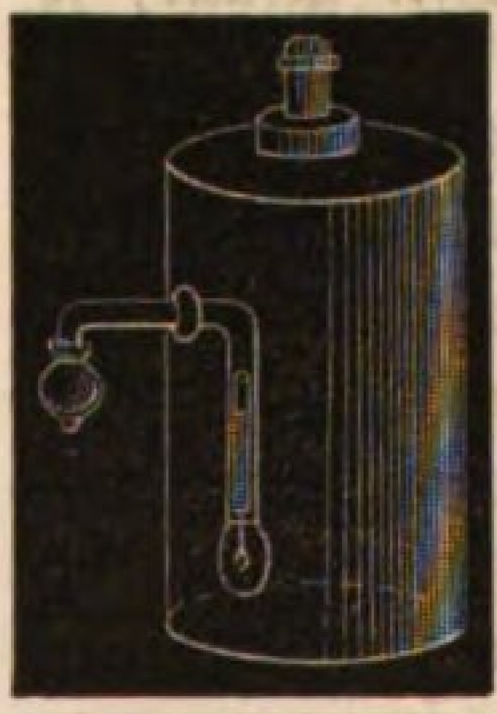
August *) hat dem Daniell'schen Hygrometer die Abänderung gegeben, daß die Kugel an dem Arme des Instrumentes, in welchem sich das inwendige Thermometer befindet, so gebogen ist (s. Fig. I.), daß die Kugel e des Thermometers möglichst nahe an der äußeren Oberfläche des Goldreifes sich befindet, so daß die Entfernung e c höchstens zwei pariser Linien beträgt. Er trifft diese Einrichtung, damit die Uebereinstimmung zwischen der Temperatur des äußeren Umfangs, an welchem sich die Dünste der Atmosphäre condensiren, und der des Thermometers möglichst genau sei. Je weiter das Thermometer von der äußeren Oberfläche der Kugel entfernt ist, desto niedriger werden die Anzeigen des inneren Thermometers; eine Folge der schlechten Leitung der Flüssigkeit und des Glases. Ferner bemerkt August, daß man sich nicht eher für überzeugt halten könne, einen richtigen Versuch gemacht zu haben, als wenn man bemerke, daß das innere Thermometer in dem Augenblicke, wo äußerlich der Hauchring sichtbar wird, auch zugleich zu sinken aufhört, und mit dem darauf beginnenden Steigen desselben der Hauchring auch wieder verschwindet.

I.



Bei der gewöhnlichen Einrichtung ist das Daniell'sche Hygrometer nur im unbeschränkten Raume brauchbar, doch kann man dasselbe auch, wie nebenstehende Fig. II. darstellt, durch eine einfache Zugabe für abgesonderte Räume brauchbar machen, indem man es mit einem Recipienten so verbindet, daß die Kugel mit dem Thermometer innerhalb desselben steht, während die mit Aether zu betröpfelnde außerhalb desselben bleibt **).

II.



Man hat viele Abänderungen des Daniell'schen Hygrometers erdacht, zum Theil wohl um den Preis zu ermäßigen. Eine nur historische Erwähnung wird um so mehr genügen, als wir bei dem Psychrometer sehen werden, daß dies Instrument am besten geeignet ist, das Daniell'sche zu ersetzen. Wir führen an: Döbereiner ***),

---

*) Ueber die Fortschritte der Hygrometrie in der neuesten Zeit. Eine Vorlesung, gehalten zu Berlin den 23. September 1828 vor der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte. Berlin 1830. Vergl. auch: Poggend. Ann. Bd. V. S. 69—88 u. S. 335—344 u. Bd. XIV. S. 137.

**) Gilb. Ann. Bd. LXV. S. 198.

***) Gilb. Ann. Bd. LXX. S. 136.

Körner *), v. Bohnenberger **), Thomas Jones ***), Brewster ****), Cumming *****), Pouillet †), Savary ††), Majocchi †††), Poggendorff ††††), Belli *†) und Regnault **†).

Regnault hat bei seinen hygrometrischen Studien ***†) das Daniell'sche Hygrometer einer besonders genauen Untersuchung unterworfen und sagt von demselben, daß es in geübten Händen annähernd die Temperatur der Bethauung geben könne, allein auf absolute Genauigkeit wäre kein Verlaß. Er zählt folgende Uebelstände auf, welche der Apparat bietet:

a) Der Aether zeigt in seinen verschiedenen Schichten beträchtliche Temperaturunterschiede; die Temperatur ist in der oberflächlichen Schicht niedriger als in den unteren. Wäre auch das Thermometer äußerst empfindlich, was bei weitem nicht der Fall ist, so würde es doch nur die mittlere Temperatur der Schichten anzeigen, in welche sein Behälter eingetaucht ist. Diese mittlere Temperatur kann aber bedeutend abweichen von der, von welcher der erste Thaubeschlag abhängt. Man verringert den Fehler, der aus dieser Ursache entspringen kann, wenn man die Verdampfung des Aethers zur Zeit, da man sich dem Thaupunkte nähert, sehr langsam bewerkstelligt; allein man darf nicht hoffen, ihn ganz zu heben.

b) Die Handhabung des Apparates erfordert eine lange Anwesenheit des Beobachters nahe bei demselben. Dies ist ein großer Uebelstand, denn sie hat nothwendig Einfluß auf die Feuchtigkeit und die Temperatur der Luft, vor allem, wenn der Beobachter genöthigt ist, sich sehr zu nähern, um das Thermometer abzulesen und die erste Bethauung zu beobachten.

c) Die Verdunstung einer großen Menge Aether geschieht auf der Kugel C in einem Raume sehr nahe bei dem, wo man die Bethauung der Kugel A hervorruft. Es ist unmöglich, daß nicht dieser Umstand und die durch ihn in den umgebenden Luftschichten herbeigeführte Temperatursenkung eine sehr merkliche Veränderung in dem hygrometrischen Zustande veranlassen sollte.

d) Der Aether, den man anwendet, ist niemals wasserfrei; der käufliche Aether enthält Wasser bis zu einem Zehntel seines Gewichtes. Dieses Wasser wird durch die Verdampfung des Aethers in einem Raume verbreitet, der dem

---

*) Gilb. Ann. Bd. LXX. S. 139.

**) Naturwissenschaftl. Abhandl. der Ges. in Tübingen. Bd. II. S. 164.

***) Phil. Trans. 1826 u. 1827. T. II. p. 53.

****) Journ. of Scienc. and arts. T. XLII. p. 320.

*****) Quarterl. Journ. of Sc. Lit. and Art. Ser. N. T. VI. p. 402.

†) Eléments de physique, 4me edit. T. II. p. 635.

††) Poggend. Ann. Bd. LIV. S. 147. Ann. de chim. et de phys. T. II. p. 531. Compt. rend. T. XIII. p. 450.

†††) Poggend. Ann. LIV. S. 148. Annali di fisica, chim. e matem. T. I. p. 30.

††††) Ann. Bd. LIV. S. 150.

*†) Poggend. Ann. Bd. LXVII. S. 584. Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XV. p. 506.

**†) Poggend. Ann. Bd. LXX. S. 530. Ann. de chim. et de phys. 1847. T. XIX. p. 84.

***†) Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 135 ff. u. 321 ff., namentlich S. 334 ff. Compt. rend. T. XX. p. 1127 et 1220.

sehr nahe ist, wo man die Bethauung hervorruft. Auch dadurch muß der hygrometrische Zustand verändert werden.

e) Ist die Temperatur hoch und die Luft sehr trocken, so ist es unmöglich auf der Kugel A einen Thau hervorzurufen, selbst wenn man große Mengen Aether auf die Kugel C schüttet, so daß in diesem Falle das Instrument seinen Dienst vollständig versagt. Es ist klar, daß die unter Nr. c und d aufgezählten Uebelstände desto größer werden, je beträchtlicher die Menge des verdampften Aethers ist.

Alle diese Uebelstände will Regnault beseitigt haben bei einem Instrumente, welches er unter dem Namen Condensations-Hygrometer vorgeschlagen und unter den verschiedenartigsten Umständen zu prüfen Gelegenheit gehabt hat *). Da dasselbe nach Versuchen von Lefebvre **) in der That Zutrauen verdient, so folgt im Folgenden die Beschreibung desselben, ungeachtet dies Instrument bis auf die Anwendung eines Aspirators und eines Fernrohrs wesentlich dasselbe ist, welches Döbereiner (s. oben) angegeben hat.

Das Condensations-Hygrometer besteht aus einem Kästchen (Fingerhütchen) von dünnem und wohl polirtem Silber, 45 Millimet. hoch und an 20 im Durchmesser. Es paßt drang auf ein an beiden Enden offenes Glasrohr, welches oben seitwärts eine Tubulatur besitzt. Die obere Oeffnung dieses Rohrs ist verschlossen durch einen Kork, der den Stiel eines Thermometers hindurch läßt, welches die Axe einnimmt und sich mit seinem Behälter mitten im Silberhütchen befindet. Ein dünnes Glasrohr, an beiden Enden offen, geht durch denselben Pfropfen und zwar bis auf den Boden des Hütchens. Man schüttet Aether in das größere Rohr und verknüpft die Tubulatur durch ein Bleirohr mit einem Aspirator, der 3 bis 4 Liter faßt und mit Wasser gefüllt ist. Der Aspirator wird neben den Beobachter gestellt, dagegen das Hygrometer so entfernt, wie man will.

Läßt man Wasser aus dem Aspirator abfließen, so dringt Luft in die dünne Röhre und blasenweise durch den Aether, der sich, in ihr verdampfend, erkältet. Die Erkältung geschieht desto rascher, je reichlicher das Wasser fließt. Die ganze Masse des Aethers zeigt übrigens eine beinahe gleichförmige Temperatur, weil sie von den durchstreichenden Luftblasen bewegt wird. In weniger als einer Minute sinkt die Temperatur so rasch, daß ein reichlicher Thau sich absetzt. In diesem Momente beobachtet man das Thermometer mittelst eines Fernrohrs.

Angenommen das Thermometer zeige 12°, und diese Temperatur sei niedriger als die, welcher die Sättigung der Luft entspricht. Man schließt nun den Hahn des Aspirators. Dadurch hält der Luftstrom ein, der Thau verschwindet nach einigen Augenblicken, und das Thermometer steigt. Ist der Thau verschwunden, so öffnet man wieder den Hahn des Aspirators, und kann nun durch schnelleren oder langsameren Luftzutritt den Thaupunkt bis auf 0°,05 genau bestimmen. 3 bis 4 Minuten sind zu einer Bestimmung ausreichend.

Unstreitig wird man mit diesem Apparate sehr genaue Beobachtungen anstellen können; die Zusammengesetztheit desselben ist indessen ein Hinderniß zum

---

*) A. a. O. S. 338.

**) Poggend. Ann. Bd. LXXVII. S. 152. Ann. de chim et de phys. Ser. III. T. XXV. p. 110.

Gebrauche auf Reisen, so daß auch hierdurch das Psychrometer schwerlich verdrängt werden dürfte. Eines Vortheiles müssen wir noch erwähnen, nämlich, daß man sich statt des Aethers ohne Nachtheil auch des Alkohols bedienen kann.

3. Die Methode des Psychrometers.

Bei der Methode der Condensation wird Dampf aus der Atmosphäre zu Wasser verdichtet; das entgegengesetzte Princip ist, Wasser in die Atmosphäre verdampfen zu lassen und aus der Menge des hierbei von der Atmosphäre aufgenommenen Dampfes auf die Menge des schon vorher in derselben enthaltenen zu schließen. Bei der Verdunstung des Wassers in die Luft wird, wenn diese Verdunstung von einer benetzten Thermometerkugel aus geschieht, dieser die zu Herstellung des Dampfes nöthige Wärme entzogen und diese Temperaturveränderung durch das Thermometer angezeigt. Das Thermometer sinkt aber stets nur bis zu einem constanten Punkte, zum Zeichen, daß das weiter verdunstende Wasser dem Thermometer keine Wärme mehr entzieht, sondern die Verdunstung nun auf Kosten derjenigen Wärme geschieht, welche die zunächst umgebende Luft verliert, während sie sich von der Luftwärme bis zur Verdunstungskälte abkühlt. Aus dem Grade, bis zu welchem das Thermometer sinkt, kann nun die Spannung des in der Luft enthaltenen Wasserdunstes berechnet werden.

Der erste, welcher in der angedeuteten Art hygrometrische Beobachtungen anzustellen vorschlug, war Hutton *), ohne jedoch gehörige Beachtung zu finden; zur Anwendung brachte das Princip dann Leslie **). Er bediente sich hierzu seines Differentialthermometers ***). Bekanntlich ist dieses mit zwei Kugeln versehen, und zeigt durch den Stand der in ihm enthaltenen Flüssigkeit die geringsten Temperaturunterschiede an, welche an beiden Kugeln stattfinden. Ueberzieht man daher eine der beiden Kugeln mit Papier oder Mousselin und benetzt denselben mit Wasser, so wird dieses um so begieriger in Dampf verwandelt, je trockener die Luft ist, und da die Wärme, welche das Wasser bei seiner Verwandlung in Dampf den mit ihm in Berührung befindlichen Körpern entzieht, der Menge des erzeugten Dampfes proportional ist, so kann man aus der erzeugten Kälte und aus dem veränderten Stande des Differentialthermometers auf die Trockenheit der Atmosphäre schließen.

Bei der Anwendung dieses sehr empfindlichen Instrumentes fand man jedoch mehrere schwer zu überwindende Schwierigkeiten. Es ist schwierig das Differentialthermometer auf wirkliche Temperaturgrade mit Sicherheit zu reduciren, so daß diese durch die Scala des Differentialthermometers selbst angegeben werden; die eigentliche Temperatur mit dem Differentialthermometer zu messen, ist gänzlich

---

*) Brewster, Edinb. Journ. of Sc. III. p. 148. Daniell, Meteor. Essays. p. 199. Playfair in Transact. of the roy. soc. of Edinb. T. V. p. 67. Ivory im Philos. Magaz. and Journ. (1822.) T. LX. p. 81.

**) Kurzer Bericht von Versuchen und Instrumenten, die sich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, von John Leslie, übers. und mit Anmerk. v. H. W. Brandes. Leipzig 1823. Gilb. Ann. Bd. V. S. 235.

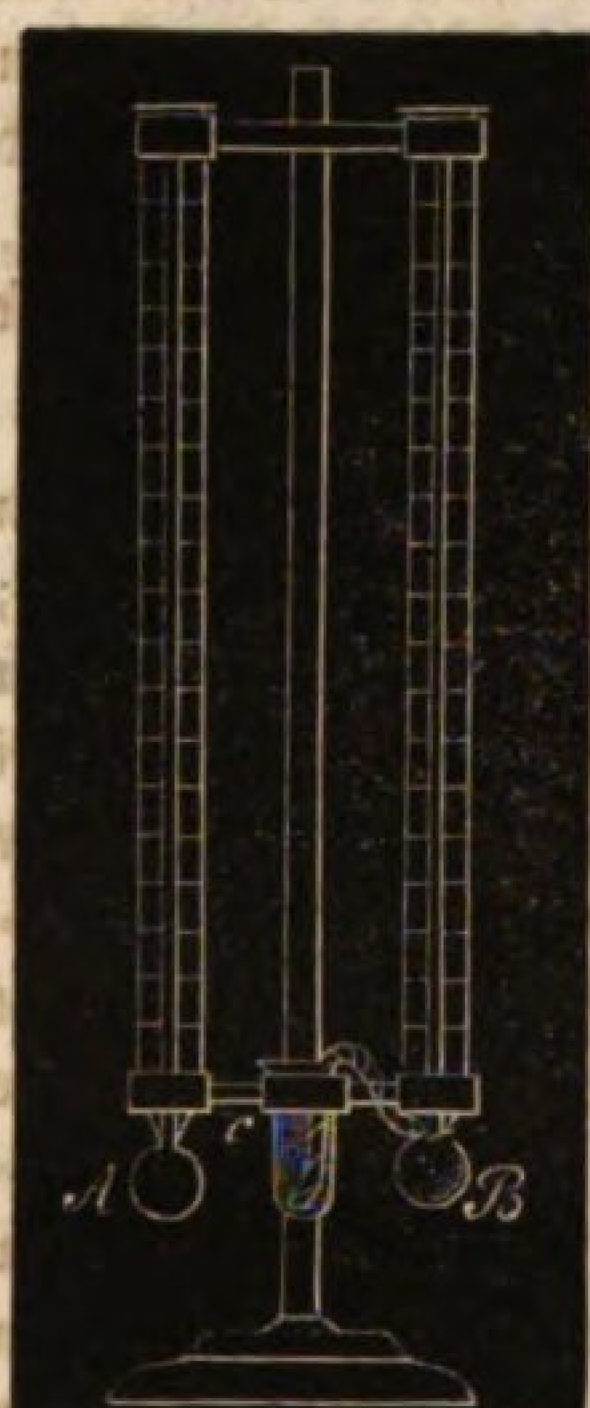
***) S. d. Art. Bd. II. S. 503.

unmöglich. Die beiden Kugeln desselben werden endlich nicht allein durch die künstlich erzeugte Verdunstung, sondern überdies auch durch andere Umstände afficirt, namentlich übt das Licht einen bedeutenden Einfluß aus.

Auch John Davy *) und Andersen **) scheinen sich öfter desselben Princips bedient zu haben. Ivory ist unstreitig der Erste, welcher zur Berechnung des Feuchtigkeitszustandes der Luft aus der Verdunstungskälte eine Formel aufgestellt hat ***).

Bei weitem vorzüglicher als das Differentialthermometer ist dasjenige Instrument, welches August (a. a. O.; vergl. außerdem: Ueber das Psychrometer, Berlin 1825. Ueber die Anwendung des Psychrometers zur Hygrometrie) unter dem Namen eines Psychrometers angegeben hat.

Das Wesentliche des Psychrometers besteht in zwei sehr empfindlichen, genau übereinstimmenden Thermometern, deren Theilung von — 25° C. bis + 50° C. reicht und so große Grade hat, daß jeder wenigstens in 5 gleiche Theile getheilt werden kann, so daß man 0°,1 C. noch mit Sicherheit zu bestimmen vermag. Beide Thermometer befinden sich an einem passenden Gestelle in einer Entfernung von einigen Zollen von einander, so daß sie von der zu beobachtenden Luft überall berührt werden. Die Kugel des einen Thermometers B (s. nebenstehende Figur) ist mit Mousselin umgeben und wird kurz vor der Beobachtung mit Wasser benetzt. Um die Benetzung dauernd zu machen, bringt man an dem Gestelle ein mit Wasser gefülltes Glasgefäß C an und führt von diesem einige baumwollene Fäden zu der umwickelten Kugel.



Dieses Instrument hat den großen Vorzug, daß man, um eine Beobachtung zu machen, nicht erst jedesmal besondere Anstalten zu treffen hat, sondern ohne weiteres den Stand beider Thermometer ablesen, auch jede Veränderung in der Luftfeuchtigkeit bemerken kann.

Als August des jüngeren De la Rive Vorschlag, den Dunstgehalt der Atmosphäre durch die Wärmezunahme eines mit Schwefelsäure benetzten und frei aufgehängten Thermometers zu messen, an gleichzeitigen Beobachtungen des Daniell'schen Instrumentes prüfte und nach jedem Versuche die angewandten Thermometer in Wasser wieder abspülte, bemerkte er zufällig, daß diese, so lange sie benetzt waren, einen festen Stand ziemlich genau in der Mitte zwischen der Luftwärme und dem durch das Daniell'sche Instrument angezeigten Thaupunkte behaupteten. Ueber dies einfache Verhältniß überrascht, setzte er die Untersuchungen fort, und so gelangte er zu einem Ausdrucke, der ein Mittel an die Hand giebt, die hygrometrischen Fragen mit ausreichender Zuverlässigkeit zu beantworten.

---

*) Brewster, Edinb. Journ. of Sc. T. I. p. 62.
**) Edinb. Phil. Journ. N. XXI. p. 161.
***) Philos. Mag. and Journ. (1822.) T. LX. p. 81.

Für die Expansivkraft des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes erhielt August nach den von Gay-Lussac*) aufgestellten Grundsätzen die theoretische Formel:

$$e = \frac{1 + \frac{\gamma}{\delta\lambda}(t - t')}{1 + \frac{\varkappa}{\lambda}(t - t')} e' - \frac{\frac{\gamma}{\delta\lambda}(t - t')}{1 + \frac{\varkappa}{\lambda}(t - t')} b$$

wo e die Elasticität des Wasserdampfes bei dem Thaupunkte,
e' dieselbe bei der Temperatur des feuchten Thermometers,
t die Temperatur der Luft,
t' die Temperatur am feuchten Thermometer,
b den Barometerstand,
δ die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei 100° C. und einer Atmosphäre Druck, gegen Luft bei denselben Umständen gleich 1 gesetzt,
γ die specifische Wärme der Luft gegen Wasser,
$\varkappa$ die specifische Wärme des Wasserdampfes gegen Wasser,
λ die latente Wärme des Wasserdampfes bedeutet.

Setzte August für $\delta\gamma\varkappa\lambda$ die bekannten Werthe ein, also $\delta = 0{,}62349$ nach Gay-Lussac, $\gamma = 0{,}2669$ nach Biot, $\varkappa = 0{,}847$ nach demselben und $\lambda = 550^0$ C., und vernachlässigte die sehr kleinen Größen, so erhielt er:

$$e = e' - \frac{0{,}00077832\,(t - t')\,b}{1 + 0{,}00154\,(t - t')} \text{ oder } e = e' - 0{,}00077832\,(t - t')\,b.$$

Indem das feuchte Thermometer sich in der Luft befindet und durch die Verdunstung deprimirt wird, ist es von einem Raume umgeben, welcher mit von Dampf gesättigter Luft angefüllt ist und aus drei Theilen besteht, nämlich aus atmosphärischer Luft, dem in dieser befindlichen und dem neugebildeten Dampfe. Das Gewicht dieser dünnen Schicht, als trockene Luft angesehen, bei einem Barometerstande b' = 336''' und 0° C. sei = ω, das Gewicht eines Cubikfußes Wasser als Einheit genommen. Nehmen wir nun die Buchstaben in der oben angegebenen Bedeutung, so ist b — e' der Druck der trockenen Luft. Bezeichnen wir das Gewicht der trockenen Luft mit L, so ist:

$$L : \omega = b - e' : b'\,(1 + mt'),$$

wo m den Ausdehnungscoefficienten der Luft für 1° bezeichnet, mithin ist

$$L = \frac{b - e'}{b'} \cdot \frac{\omega}{1 + mt'}$$

Der umgebende Dampf besteht aus dem atmosphärischen und dem neu hinzugekommenen, letzterer übt also den Druck e' — e aus. Ist nun D das Gewicht des atmosphärischen Dampfes, so verhält sich

$$D : \omega = \delta e : b'\,(1 + mt')$$

folglich ist

$$D = \frac{e}{b'} \cdot \frac{\delta\omega}{1 + mt'}.$$

Auf ganz gleiche Weise ergiebt sich für das Gewicht d des neugebildeten Wasserdampfes

$$d = \frac{e' - e}{b'} \cdot \frac{\delta\omega}{1 + mt'}.$$

*) Ann. de Chim. et de Phys. T. XXI. p. 82.

Die Wärmemenge, welche die Luft beim Uebergange von der Temperatur t zu t' abgiebt, ist, da γ die specifische Wärme der Luft bezeichnen soll,

$$L \,.\, \gamma \,.\, (t - t') = \frac{b - e'}{b'} \,.\, \frac{\omega}{1 + mt'} \,.\, \gamma \,(t - t').$$

Eben so giebt der atmosphärische Dampf eine Wärmemenge ab

$$D \,.\, \varkappa \,.\, (t - t') = \frac{e}{b'} \,.\, \frac{\delta \omega}{1 + mt'} \,.\, \varkappa \,(t - t').$$

Endlich ist die von dem neugebildeten Dampfe gebundene Wärmemenge

$$d\lambda = \frac{e' - e}{b'} \,.\, \frac{\delta \lambda \omega}{1 + mt'}.$$

Diese letztere Größe ist offenbar gleich der Wärmemenge, welche Luft und schon vorhandener Dampf abgeben; es ist mithin

$$\frac{b - e'}{b'} \,.\, \frac{\omega}{1 + mt'} \,.\, \gamma \,(t - t') + \frac{e}{b'} \,.\, \frac{\delta \omega}{1 + mt'} \,.\, \varkappa \,(t - t') = \frac{e' - e}{b'} \,.\, \frac{\delta \lambda \omega}{1 + mt'},$$

also mit Weglassung der gleichen Faktoren auf beiden Seiten:

$$(b - e') \,.\, \gamma \,.\, (t - t') + e \delta \varkappa \,(t - t') = (e' - e) \,\delta \lambda,$$

woraus ohne Weiteres die obige Formel für e sich ergiebt.

Kämtz *) setzt $\delta = 0{,}62082$, $\gamma = 0{,}2669$, $\varkappa = 0{,}837$ und $\lambda = 535$ und erhält

$$e = e' - 0{,}00080358 \,(t - t')\, b.$$

Bürg **) giebt diesen Coefficienten = 0,00081482; Stierlin ***) = 0,00078278; Bohnenberger ****) = 0,00071358; Karsten *****) = 0,000796293, indem er nach Holtzmann $\delta = 0{,}6207$, nach Delaroche und Bérard $\gamma = 0{,}2669$, nach denselben $\varkappa = 0{,}817$ und nach Brix $\lambda = 540$ setzt; Regnault = 0,00071381, später setzte er †) 0,0006246.

Zur Veranschaulichung des Gebrauches des Psychrometers lassen wir ein Beispiel folgen.

Am 20. Mai 1827 um $2^1/_2$ Uhr Nachmittags beobachtete Prof. Erman zu Berlin eine sehr bedeutende Psychrometerdifferenz, nämlich bei 338''',23 Barometerstand am trockenen Thermometer 19,1° R., am feuchten 11, 1° R.; wie feucht war die Luft und wo lag der Thaupunkt?

Legen wir die Formel von Kämtz zu Grunde:

$$e = e' - 0{,}00080358 \,(t - t')\, b$$

so suchen wir zunächst e' für 11,1° R. nach der Tabelle von Kämtz in Bd. I. S. 542. Wir finden dieselbe = 5,11.

Die Differenz des feuchten und trockenen Thermometers beträgt 8° R. = 10° C., folglich ist zu berechnen, da der Barometerstand 338''',23 beträgt:

$$0{,}00080358 \,.\, 10 \,.\, 338{,}23 = 2{,}7179.$$

---

*) Meteorologie. Th. I. S. 317 u. 318.

**) Zeitschrift für Math. u. Phys. Bd. IV. S. 50.

***) Hülfstafeln u. Beiträge zur neueren Hygrometrie. Köln 1834. S. 135.

****) Naturwissenschaftl. Abhandlungen der Ges. in Tübingen. Bd. II. S. 162.

*****) Fortschritte der Physik im J. 1845. Berlin 1847. S. 138.

†) Poggend. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 424.

Es ist also $e = 5{,}11 - 2{,}72 = 2{,}39$.

Da wir nun aus derselben Tabelle ersehen, daß zu 19,1° R. die Expansivkraft 9,43 gehört, so ist im vorliegenden Falle die Feuchtigkeit

$$\frac{2{,}39}{9{,}43} = 0{,}253,$$

also etwa $^1/_4$ des Gehaltes, welchen die Luft aufzunehmen im Stande war.

Dem vorhandenen Dampfe kommt eine Expansivkraft = 2,39 zu; suchen wir in derselben Tabelle die hierzu gehörige Temperatur, so finden wir + 1,9° R. und dies wäre mithin der Thaupunkt. Zur Zeit der Beobachtung hätte sich also die Luft von 19,1° R. bis unter 1,9° R. abkühlen müssen, wenn ein Niederschlag hätte erfolgen sollen.

Legen wir die Tabelle von August Bd. I. S. 543 zu Grunde, so ergiebt sich

$$e = 5{,}56 - 2{,}72 = 2{,}84,$$

also der Feuchtigkeitsgehalt $\frac{2{,}84}{10{,}13} = 0{,}28$ und die Temperatur des Thaupunktes = 2,8° R.

Eine neuere Tafel ist von Regnault geliefert, wegen welcher wir auf Art. Atmosphäre Bd. I. S. 546 verweisen.

Das Umständliche der Rechnung in Betreff des mit b versehenen Gliedes hat Tabellen wünschenswerth gemacht, durch welche dieselbe abgekürzt wird. Es hat Kämtz *) folgende gegeben:

---

*) Meteorologie. Th. I. S. 320.

Tafel

zur Herleitung des Dampfgehaltes der Atmosphäre aus den Beobachtungen des Psychrometers, wenn die Temperatur des nassen Thermometers größer als Null ist.

Hunderttheiliges Thermometer.

$t - t_1$	280‴	285‴	290‴	295‴	300‴	305‴	310‴	315‴	320‴	325‴	330‴	335‴	340‴	345‴
0°,1	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,03	0‴,03	0‴,03	0‴,03	0‴,03	0‴,03	0‴,03
0,2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
0,3	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
0,4	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
0,5	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14
0,6	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17
0,7	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19
0,8	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22
0,9	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25
1	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,28
2	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55
3	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83
4	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,98	1,00	1,01	1,03	1,04	1,06	1,08	1,09	1,11
5	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,33	1,35	1,37	1,39
6	1,35	1,37	1,40	1,42	1,45	1,47	1,49	1,52	1,54	1,57	1,59	1,62	1,64	1,66
7	1,57	1,60	1,63	1,66	1,70	1,72	1,74	1,77	1,80	1,83	1,86	1,88	1,91	1,94
8	1,80	1,83	1,86	1,90	1,94	1,96	1,99	2,02	2,06	2,09	2,12	2,15	2,19	2,22
9	2,03	2,06	2,10	2,14	2,18	2,21	2,24	2,28	2,31	2,35	2,39	2,42	2,46	2,49
10	2,25	2,29	2,33	2,37	2,41	2,45	2,49	2,53	2,57	2,61	2,65	2,69	2,73	2,77

Tafel

zur Herleitung des Dampfgehaltes der Atmosphäre aus den Beobachtungen des Psychrometers, wenn die Kugel des nassen Thermometers mit Eis überzogen ist.

Hunderttheiliges Thermometer.

$t - t_1$	280‴	285‴	290‴	295‴	300‴	305‴	310‴	315‴	320‴	325‴	330‴	335‴	340‴	345‴
0°,1	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,02	0‴,03	0‴,03	0‴,03
0,2	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
0,3	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08
0,4	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
0,5	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13
0,6	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16
0,7	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18
0,8	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21
0,9	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23
1	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26
2	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,51	0,52
3	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,64	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,78
4	0,84	0,85	0,87	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,99	1,00	1,02	1,04
5	1,05	1,07	1,09	1,11	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24	1,26	1,27	1,29
6	1,26	1,28	1,31	1,33	1,35	1,37	1,39	1,42	1,44	1,46	1,48	1,51	1,53	1,55
7	1,47	1,50	1,52	1,55	1,57	1,60	1,63	1,65	1,68	1,71	1,73	1,76	1,79	1,81
8	1,68	1,71	1,74	1,77	1,80	1,83	1,86	1,89	1,92	1,95	1,98	2,01	2,04	2,07
9	1,89	1,92	1,96	1,99	2,02	2,06	2,09	2,13	2,16	2,19	2,23	2,26	2,29	2,33
10	2,10	2,14	2,17	2,21	2,25	2,29	2,32	2,36	2,40	2,44	2,47	2,51	2,55	2,59

Bedienen wir uns dieser Tafeln zur Berechnung des obigen Beispiels, so finden wir für die Thermometerdifferenz von 10° C. in der ersten Tafel bei 335''' Barometerstand die Zahl 2,69 und bei 340''' 2,73. Da der gegebene Barometerstand 338''',23 war, so berechnen wir

$$340 - 335 : 338{,}23 - 335 = 2{,}73 - 2{,}69 : x,$$

also

$$5 : 3{,}23 = 0{,}04 : x$$

folglich

$$x = 0{,}02584 = 0{,}03$$

mithin ist von e' zu subtrahiren 2,69 + 0,03 = 2,72, wie auch oben gefunden wurde. Man übersieht leicht, daß diese ganze Rechnung ohne weiteres im Kopf gemacht werden kann, und es bieten daher diese Tafeln wirklich eine nicht geringe Erleichterung. Allerdings fallen diese Tafeln verschieden aus, je nach dem Coefficienten von b, für dessen Anwendung man sich entscheidet.

Für Beobachter des Psychrometers giebt es besondere Zusammenstellungen von dergleichen Tafeln. Es seien hier die von Stierlin*) und von Listing**) erwähnt. Außerdem hat G. Karsten***) eine Reihe von 16 Hülfstafeln abdrucken lassen, von denen z. B. Taf. I. eine Vergleichung der Werthe für die Expansivkraft des Wasserdampfes nach elf verschiedenen Formeln von — 10° bis + 30° R. von Grad zu Grad giebt.

Nach der Theorie von August könnte man auch folgende Formeln anwenden:

$$e = e' - \frac{0{,}01244\,(t - t')}{28{,}776}\,b, \text{ für engl. Zoll und Grade nach F.}$$

$$e = e' - \frac{0{,}252\,(t - t')}{324}\,b, \text{ für Par. Lin. und Grade nach C.}$$

$$e = e' - \frac{0{,}315\,(t - t')}{324}\,b, \text{ für Par. Lin. und Grade nach R.}$$

Ist die Thermometerkugel des feuchten Thermometers mit Eis umgeben, so muß der Coefficient von b noch mit 0,88 multiplicirt werden.

Nimmt man in den beiden letzten Formeln auf den verschiedenen Stand des Barometers nicht Rücksicht, sondern setzt denselben stets = 336''' voraus, so kann man sich leicht Hülfstabellen berechnen, welche angeben, wie viel von der in Linien ausgedrückten Elasticität der Temperatur des feuchten Thermometers in Abzug zu bringen ist für die Temperaturdifferenzen von 1 bis 10°, um die Elasticität des Thaupunktes zu erhalten.

Diese Tabellen sind folgende:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cels.	0,26	0,52	0,78	1,04	1,31	1,57	1,83	2,09	2,35	2,61
R.	0,33	0,65	0,98	1,30	1,63	1,96	2,28	2,61	2,93	3,26

*) Bereits oben angeführt.

**) Kleine hygrometrische Tafeln. Göttingen 1844. 12. S. 19.

***) Karst. Arch. Bd. XXI. S. 49.

Die Zahl, welche man erhält, wenn man die zum Thaupunkte gehörige Expansivkraft des atmosphärischen Dampfes (expansio roralis) durch die Expansivkraft des Maximums (expansio maxima) dividirt, also

$$p = \frac{\text{exp. ror.}}{\text{exp. max.}},$$

dient ferner zur Bestimmung für das Gewicht des in einem Cubikraum Luft enthaltenen Wasserdampfes. Kennt man nämlich ein für allemal das Gewicht eines Cubikraumes Luft bei allen Temperaturen, so darf man dasselbe in jedem besonderen Falle nur mit dieser Zahl p multipliciren.

In dem Artikel Atmosphäre Bd. I. S. 545 ist eine kleine Tafel über die absoluten Gewichte eines Pariser Cubikfußes Wasserdampf im Maximum bei den verschiedenen Temperaturen gegeben, durch welche diese Rechnung wesentlich erleichtert wird.

In dem als Beispiel oben gewählten Falle würde also das aus dieser Tafel für 19,1° gefundene Gewicht, nämlich 14,85, zu multipliciren sein mit 0,253. Dies giebt 3,76. Es wiegt also der in einem Cubikfuße Luft enthaltene Dampf unter diesen Umständen nahe $3^3/_4$ Gran.

Der Barometerstand hat auf die Zahl der eben angezogenen Tafel keinen Einfluß, weil nach einem bekannten Dalton'schen Gesetze sich eben so viel Dampf in der Luft bildet als im leeren Raume *).

Genauer findet man aber das Gewicht eines Cubikfußes Dampf bei der beliebigen Expansivkraft e und der Temperatur t nach der Formel

$$x = \frac{1{,}63 \,.\, e}{1 + 0{,}005\, t} \text{ Gran},$$

wo e die Expansivkraft für den Thaupunkt und t die Luftwärme bedeutet.

Eine Tafel, welche den Feuchtigkeitsgehalt der Luft in Milliontheilen des Raumes (für eine bestimmte psychrometrische Differenz) angiebt, hat Eckhardt **) aufgestellt.

Die freie atmosphärische Luft ist nie vollkommen trocken, weil sie nirgends ganz ohne Wärme ist, und Wasserdampf sich bei jedem Wärmegrade bilden kann. Wäre sie irgendwo vollständig trocken, so müßte die Beobachtung des Psychrometers die Expansivkraft e = o ergeben.

Die Methode des Psychrometers hat den ungetheilten Beifall der Meteorologen erhalten; neuerdings aber hat Regnault ***) darauf aufmerksam gemacht, daß bei den bisherigen Untersuchungen auf die Geschwindigkeit des Luftstroms keine Rücksicht genommen sei.

Nach der von August entwickelten Formel, aus welcher Regnault

$$e = e' - \frac{0{,}429\,(t - t')}{610 - t}\, b$$

und

$$e = e' - 0{,}0006246\,(t - t')\, b$$

ableitet, müßte der Temperaturunterschied am trockenen und feuchten Thermometer für jegliche Geschwindigkeit derselbe sein.

---

*) Vergl. Art. Dampf. Bd. II. S. 153.

**) Ann. d. Pharm. Bd. XIII. S. 361.

***) Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 343 ff. Bd. LXXXVIII. S. 422.

Um zu entscheiden, ob dem so sei, construirte Regnault folgenden Apparat.

Ein trockenes Thermometer a und eines mit benäßter Kugel b befinden sich in zwei cylindrischen Büchsen von sehr dünnem Messing A und B. Die Kugel des Thermometers b ist bekleidet mit Battist, der beständig feucht gehalten wird durch einen Baumwollendocht, welcher in eine kleine mit Wasser gefüllte Kugel c taucht, deren Hals hermetisch in der unteren Tubulatur der Büchse B festgekittet ist.

Ein mehrmals gekrümmtes Messingrohr wird zur vollständigen Austrocknung der Luft mit einem großen Rohr voll schwefelsauren Bimssteins verbunden, und durch die Röhre D mit einem großen Aspirator in Gemeinschaft gesetzt. Den Apparat setzt man in eine große Glasglocke und rührt hier das Wasser fortwährend um. Ehe die trockene Luft zum Thermometer a gelangt, geht sie durch ein sehr langes Metallrohr, das, in dem Wasser des Gefäßes liegend, die Temperatur dieses Wassers besitzt, welche Temperatur übrigens derjenigen der Umgebung sehr nahe kommt.

So wie man den Hahn des Aspirators etwas öffnet, sinkt das benäßte Thermometer sogleich, und nach einiger Zeit kommt es auf einen festen Stand; dann zeichnet man die Angaben beider Thermometer auf. Um die Geschwindigkeit des Luftstromes zu finden, fängt man das aus dem Aspirator abfließende Wasser in einem Glasballon auf, der auf seinem Halse einen Markstrich hat, und bis dahin 5 Liter faßt. An einer Uhr zählt man die Zahl der Secunden, welche das Gefäß zu seiner Füllung gebraucht; daraus ergiebt sich dann leicht, wie viel Cubikcentimeter in der Minute abfließen. Auf dieselbe Weise macht man bei mehr geöffnetem Hahne eine neue Bestimmung, und so fort.

Aus diesen Versuchen ergab sich, daß die Geschwindigkeit des Luftstromes bei vollkommener Trockenheit einen großen Einfluß auf die Senkung der Temperatur des feuchten Thermometers hat. Mithin ist klar, daß dieser Einfluß auch sehr merklich sein muß, wenn die Luft eine gewisse Menge Feuchtigkeit einschließt.

Von der Richtigkeit dieses Schlusses überzeugte sich Regnault dadurch, daß er den Apparat durch ein Rohr E mit einem Aspirator verknüpfte und an das Ende g ein langes Glasrohr ansetzte, welches die Luft draußen auf einem Hofe aufsog dicht neben einem Psychrometer. Man ließ den Aspirator wirken, und als das benäßte Thermometer einen festen Stand erreicht hatte, notirte man gleichzeitig den Stand der beiden Thermometer a und b des Apparates und der beiden Thermometer des äußeren Psychrometers. Es ergab sich keine gleiche Menge Feuchtigkeit nach der Formel aus den beiden psychrometrischen Apparaten, sondern das äußere Psychrometer ergab stets eine größere Expansivkraft.

Es ergab sich überhaupt als Resultat, daß die Temperatur am feuchten Thermometer um so stärker sinkt, je schneller der dasselbe treffende Luftstrom ist, und Regnault kam zu dem Schlusse, daß, wenn das Instrument der freien Luft ausgesetzt ist, die Formel ihre Gültigkeit nur behält, so lange die Geschwindigkeit des Windes nicht 5 bis 6 Meter in der Secunde überschreitet. In Observatorien würde also das Psychrometer ausreichende Resultate liefern, da man es hier gehörig zu schützen im Stande sein wird.

Regnault setzt nun allgemein

$$e = e' - A\,(t - t')\,b$$

und versucht, ob die verschiedenen Sättigungsstufen der Luft mit hinreichender Genauigkeit dargestellt werden, sobald man das Psychrometer bei jeder

Versuchsreihe einen festen Standpunkt behalten läßt, und den Werth des unbestimmten Coefficienten A zweckmäßig bestimmt. Eben so sucht er zu bestimmen, ob die Formel sich bewährt, wenn man A für die verschiedenen localen Umstände einen constanten oder für jeden einen speciellen Werth beilegt.

Das Ergebniß dieser Untersuchungen war:

1) August's Formel kann nicht als der wahre Ausdruck der Thatsachen betrachtet werden, denn sie giebt nicht Rechenschaft von mehreren Umständen, die einen großen Einfluß auf die Angaben dieses Instrumentes ausüben. Die relativen Temperaturen der beiden Thermometer hängen nicht allein ab von dem Sättigungszustande der Luft, sondern auch von dem Bewegungszustande derselben, so wie von örtlichen Umständen, denen das Instrument ausgesetzt ist. Die Thermometer zeigen Resultate, welche abhängen von der eigenen Temperatur der umgebenden Luft, von der veränderlichen Wärmestrahlung der umgebenden Körper, und überdies beim benäßten Thermometer von dem (vielleicht mit der Temperatur veränderlichen) Verdampfungsvermögen, welches die Luft unter den Temperatur-, Sättigungs- und Bewegungs-Zuständen, in welchen sich das Instrument befindet, auf das Wasser ausübt. Wollte man dem Instrumente eine schnelle Bewegung um eine verticale Axe geben, so würde man zwar den Einfluß der Luftbewegung und der örtlichen Umstände vermindern, aber dadurch die Einfachheit, ein Hauptverdienst des Psychrometers, vernichten.

Walferdin*) hat vorgeschlagen, sich eines einzigen Thermometers zu bedienen, dessen mit Mousselin umhüllter Behälter erst trocken ist, und nachdem die Temperatur der Luft bestimmt ist, befeuchtet wird, wobei man jedesmal das Instrument im Kreise herumschwenkt. Bei dieser Beobachtungsweise ist jedoch der Beobachter dem Instrumente zu nahe und übt einen Einfluß auf den Feuchtigkeitszustand der Luft aus; außerdem verfließt zwischen den beiden Ablesungen immer eine gewisse Zeit, und es ist daher fraglich, ob der Zustand der Luft ungeändert geblieben ist. Jedenfalls müßte auch bei diesem Verfahren der Werth von A zunächst bestimmt werden.

Belli's Vorschlag (oben bereits citirt) ist zu complicirt, und möge daher diese Notiz genügen.

2) Ungeachtet der eben gemachten Ausstellungen entscheidet sich Regnault für die Gültigkeit der Formel

$$e = e' - A\,(t - t')\,b$$

für Psychrometerbeobachtungen in eingeschlossener oder freier Luft, wenn das Instrument gegen Wind und directe Sonnenstrahlen gehörig geschützt ist. Daher erhält man aus solchen Beobachtungen in unseren Klimaten die verschiedenen Feuchtigkeitszustände der Luft mit hinreichender Genauigkeit, so bald man für jede Oertlichkeit den Werth des Coefficienten A durch directe Versuche sorgfältig bestimmt hat.

3) Ist das Instrument nicht gegen alle Winde geschützt, so giebt ein und dieselbe Formel in verschiedenen Fällen nicht gleiche Genauigkeit.

---

*) Poggend. Ann. Ergänzungsb. Bd. LXXXVII b S. 471. Instit. 1851. N. 930. p. 348.

4) In directen Sonnenstrahlen unter der Voraussetzung, daß die Wassermenge hinreicht den Mousselin des feuchten Thermometers vollständig zu benetzen, stimmen die Resultate mit denen eines im Schatten aufgestellten Psychrometers genügend überein, sobald beide nach derselben Formel berechnet werden.

5) Bei Temperaturen unter 0 oder wenig darüber, wo das Wasser auf der Oberfläche des befeuchteten Thermometers gefriert, wird das Psychrometer weniger empfindlich, weil die Veränderungen der Expansivkraft des gesättigten Wasserdampfes mit der Temperatur immer geringer werden, in dem Maße als die Temperatur sinkt. Die Bestimmung von A in diesen Fällen muß durch Beobachtungen in kälteren Gegenden indessen erst noch aufgeklärt werden.

Das Psychrometer muß also als ein empirisches Instrument betrachtet werden, und jeder Meteorolog sollte daher die Einflüsse der localen Verhältnisse auf sein Instrument zunächst zu erforschen suchen, um nicht werthlose Beobachtungen zu liefern. Das Psychrometer wird am zweckmäßigsten so weit wie möglich aufgestellt an einem sehr geräumigen, aber durch umgebende Gebäude geschützten Orte, damit die Thermometer vor der directen Wirkung des Windes geschützt seien. A muß durch vergleichende Versuche für den zur Aufstellung gewählten Ort bestimmt werden mit Hülfe der chemischen oder Condensations-Methode und zwar zu einer Zeit, zu welcher die Luft von dem Sättigungspunkte weit entfernt ist, weil dann das mit A behaftete Glied den größten Zahlenwerth besitzt. Es wird selbst zweckmäßig sein, die Constante A für zwei verschiedene Strecken der Thermometerscala zu bestimmen, für die von 0° bis 10° und dann für 10° bis 30°. Verfährt man so, dann werden die durch das Psychrometer erhaltenen Werthe von den wahren Werthen um nicht mehr als $\frac{1}{40}$ abweichen.

B. Hygroskope.

Bereits oben ist erwähnt worden, daß viele Substanzen hygroskopisch sind, und in welcher Weise sich dies Verhalten äußert. Da jedoch nach dem vorhergehenden Abschnitte dieses Artikels der zur Ermittelung des Feuchtigkeitsgehaltes der Atmosphäre einzuschlagende Weg mit Hülfe der Hygrometer genau vorgezeichnet ist, und die aus hygroskopischen Substanzen construirten Instrumente, weil sie an dem wesentlichen Mangel, nicht vergleichbar zu sein, leiden, keine zuverlässigen Resultate liefern können; so wird es hier genügen, nur historisch über diese sogenannten Hygroskope zu berichten und höchstens diejenigen näher zu berühren, welche ein gewisses Ansehen sich bewahrt haben. Die meisten dieser Hygroskope sind genau genommen nichts Anderes als Spielereien.

Den Gedanken, die Veränderungen der hygroskopischen Substanzen zu benutzen, um daraus die Größe der atmosphärischen Feuchtigkeit zu erkennen, soll der italienische Arzt Morgagni zuerst gehabt haben. Auch Santori (1625) und Torricelli (1646) sind unter den Ersten zu nennen, denen Leonardo da Vinci indessen noch voranging *). Die ältesten Beschreibungen derartiger

*) Venturi, Essai sur les ouvrages physico-mathématiques de Léonard de Vinci. 1797. p. 28.

Instrumente finden wir aber bei Leupold *), Wolf **), Dalonce ***) und Sturm ****).

Einen gewissen Ruf durch die hygroskopischen Eigenschaften hat die Rose von Jericho oder Marienrose (Anastatica hierochuntica L.) erhalten. Es ist dies keine Blüthe, sondern ein eigenes Gewächs, einjährig, im Orient wachsend, mit 3 bis 6 Zoll hohem, sehr ästigem, zottig-flaumigem Stengel, im trockenen Zustande sich zu einem rundlichen Knäuel zusammenziehend, in Berührung mit Wasser aber jedesmal sich wieder ausbreitend. Diese Pflanze liefert also ein natürliches Hygroskop.

Ein Hygroskop, welches man noch oft zu sehen bekommt, beruht auf den stark hygroskopischen Eigenschaften des Samenkorns von dem Storchschnabel (Erodium cicutorium, namentlich bedient man sich aber des geranium moschatum und malacoides, und noch besser soll Pelargonium triste sein). Das Samenkorn hat eine lange Granne, die sich bei dem reifen und getrockneten Samen 5 bis 6 Mal spiralförmig windet, während das Ende geradlinig bleibt. In Wasser gelegt streckt sich die Granne gerade; zieht man dann mit einem Federmesser die behaarte Haut von der Oberfläche ab, so daß nur die holzähnliche Substanz der Granne übrig bleibt, so erhöht man noch die hygroskopischen Eigenschaften. Steckt man hierauf das Samenkorn in den Mittelpunkt einer Kreisscheibe, welche in 10 gleiche Theile getheilt ist, und rechnet jede Windung der Granne als einen Zehner, die Zahl der Scheibe aber, über welcher die Grannenspitze steht, als Einer, so hat man hierin eine hygroskopische Scala, die bis gegen 70 Grade geht. Die Granne folgt den Luftveränderungen jedoch nicht augenblicklich und vollständig *****).

In ähnlicher Weise hat man sich der Granne des wilden Hafers (Avena fatua L.) bedient, desgleichen der des Federgrases (Stipa pennata L.). Besonders hygroskopisch sind noch aus dem Pflanzenreiche: Carlina vulgaris, die innere Haut von Arundo phragmites, Andropogon contortus, Alga marina, Mnium hygrometricum ꝛc.

Eine der ältesten hygroskopischen Spielereien ist das Saitenhygrometer oder holländische Hygrometer. Es besteht aus einem kleinen Häuschen mit zwei Eingängen, in welchem ein Stück Darmsaite senkrecht herabhängt und an seinem unteren Ende eine dünne Scheibe trägt, auf welcher zwei Puppen, eine männliche mit einem Regenschirm und eine weibliche mit einem Fächer stehen. Durch das Aufschwellen der Saite in Folge größerer Feuchtigkeit

---

*) Theatri statici Pars II. universalis s. theatrum hydrostaticum etc. Lips. 1726. Von den Hygrometers oder Instrumenten das Regenwasser zu messen. Cap. VIII. S. 296 bis 298.

**) Allerhand nützliche Versuche ꝛc. Halle 1747. Cap. VII. Von der Feuchtigkeit der Luft und den Hygrometern oder Wetter-Wagen. S. 254 — 284.

***) Traitez des Barométres, Thermométres et Notiométres ou Hygrométres, Amsterd. 1688. p. 88 — 126.

****) Collegium experimentale s. curiosum Tentamen. T. XIV. p. 120 — 138. Norimb. 1701 u. Auctuarium XIV. Tentaminis p. 114 — 120, u. Pars II. Norimb. 1715. Tent. XIII. p. 224. — 230.

*****) Journ. Oeconomique. Juin 1765. p. 285, übers. von Krünitz in: Gemeinnützl. Vorrath auserles. Aufsätze. Leipzig 1767. Bd. I. S. 178 — 189.

der Luft kommt die männliche Puppe vermittelst der Drehung der Scheibe aus ihrem Eingange und deutet somit auf Regen, statt daß ihr Zurückgehen und das Hervortreten der weiblichen Puppe heitere Witterung verspricht.

Ein großartigeres Spielwerk, ein Hygroskop darbietend, steht, wie Marbach in der ersten Auflage erzählt, wenn er sich nicht irre, über der Sternwarte auf dem Universitätsgebäude in Breslau; ein Adler nämlich spannt bei heiterem Wetter die Flügel aus, welche er bei feuchtem sinken läßt.

Nach dem Saitenhygrometer kam man auf die Erfindung des Schwammhygrometers, doch ist dasselbe vielleicht auch älter als das vorige, da es schon R. Boyle kannte. Dieses Hygrometer bestand aus einem Schwamme, den man anfangs mit Wasser und, nachdem er ziemlich trocken war, mit Essig, welcher mit Salmiak versetzt war, befeuchtete; war der Schwamm abermals trocken, so hing man ihn mit einem Gegengewichte an einen Wagebalken. Uebereinstimmung verschiedener Schwämme war nicht zu erreichen.

Ein Hygroskop, welches sich auf die merkliche Veränderung des Holzes nach der Breite der Fasern gründete, construirte Hautefeuille *). Teuber **) suchte dies Instrument zu verbessern, und gab auch ein neues an, welches sich auf die Verlängerung und Verkürzung einer Saite gründete, worauf auch Lichtscheid ***) seine Bemühungen richtete. Die Anfertigung der Hygroskope zog auch Amonton's Aufmerksamkeit auf sich ****); ferner erwähnen wir der Zeit nach: Gould, welcher Schwefelsäure benutzte *****), Molineux †) und Sturm (a. a. O.), aus Darmsaite, Ferguson ††) aus Holz, v. Chesseaux †††) aus Salz, was später auch Lampadius ††††) wieder empfahl, Titius *†) aus Darmsaite, Lambert **†), der vielen Fleiß auf die Berichtigung der Hygroskope verwendete und von dem an eigentlich eine neue Epoche der Hygrometrie gerechnet werden könnte; namentlich beschäftigte er sich mit dem Saiten- und Schwammhygrometer.

Tobias Lowitz ***†) fand an den Ufern der Wolga bei Dmitriefsk im Jahre 1772 eine Art bläulicher dünner Schiefersteine, welche die Feuchtigkeit begierig aufnahmen, dann aber sie leicht wieder fahren ließen. Von solchem Thonschiefer wog ein Täfelchen nach dem Glühen 175 Gran, mit Wasser getränkt 247 Gran; es hatte also 72 Gran oder über 0,4 seines Gewichtes Wasser aufgenommen. Lowitz hing nun einen solchen Stein an den einen Arm eines

---

*) Pendule perpetuelle. Paris 1678. Sturm l. c. T. II Tent. XIII. p. 225.

**) Nov. genus hygrometri etc. in Act. erud. Lips. 1687. Febr. p. 76 u. 1688, Apr. p. 179.

***) Nov. genus hygrometri etc. in Act. erud. Lips. 1688. Apr. p. 181.

****) Journ. des Sçavans 1688. Mars. XV. p. 403.

*****) Phil. Transact. 1684. N. 176. p. 496; Act. erud. Lips. 1685. Jul. p. 315.

†) Phil. Transact. N. 162. p. 1032. Act. erud. Lips. 1686. p. 389.

††) Phil. Transact. T. LIV. u. Gentlem. Magaz. 1767. Juni p. 297.

†††) Abhandl. u. Beobacht. durch die ökonom. Gesellsch. zu Bern. 1762. p. 203.

††††) Beiträge zur Atmosphärologie. Freiberg 1817. S. 29.

*†) Wittenberg. Wochenbl. 1768. S. 21 u. 188 u. 1769. S. 281.

**†) Mém. de l'Acad. Roy. de Berlin 1769. p. 68 u. 1772. p. 65.

***†) Götting. Mag. Jahrg. III. St. 4. Nr. 2.

empfindlichen Wagebalkens, und brachte ihn mit einer silbernen Kette am anderen ins Gleichgewicht, deren Ende an einem Schieber befestigt war, welcher in einem Falz an einem Brette die Zunahme des Gewichtes von 10 zu 10 Granen anzeigte, wodurch die Wage einen Ausschlag erhielt. Wenn dann der Stein durch die Feuchtigkeit der Atmosphäre schwerer wurde, so zeigte der Schieber dieses an, indem man ihn dahin stellte, wohin der Ausschlag des Wagebalkens es forderte. Auf diese Weise fand Lowitz, daß der Stein bei sehr feuchtem Wetter 55 Gran, bei sehr trockenem 1,5 Gran Feuchtigkeit zeigte. Auch diese Steine verlieren allmälig ihre hygroskopische Eigenschaft und sind überdies selten.

Inochodzow *) erhob Ansprüche auf die Erfindung des Lowitz'schen Hygrometers.

John Smeaton **) bemühte sich das Hygrometer aus hanfenen Schnüren zu verbessern und ihm feste Punkte zu geben; bereits früher hatte dasselbe Onufrius Conversinius angegeben ***).

Clas Bjerkander ****) schlug Carlina vulgaris zu einem Hygrometer vor.

Saussure *****) bemühte sich eine eigentliche Theorie der Messung absoluter Quantitäten des in der Luft enthaltenen Wassers aufzustellen. Der wesentliche Theil seines Hygroskops, auf welches wir noch näher eingehen werden, bestand aus einem blonden, nicht krausen Menschenhaare.

Nächst Saussure hat sich de Luc um Herstellung eines genauen Hygroskops bemüht; sein Fischbein-Hygroskop soll noch in diesem Artikel näher beschrieben werden. Hier erwähnen wir nur, daß er anfänglich ein Elfenbein-Hygroskop construirte †), welches er jedoch selbst 1775 verwarf. Zu seinen hygrometrischen Studien wurde er besonders veranlaßt durch seine Untersuchungen über die geringere Wärme in den oberen Gegenden der Atmosphäre, welche er dem Mangel an Wasserdämpfen zuschrieb. Auf diesen Gedanken aber war er gekommen, als beim Besteigen des 1560 Toisen hohen Berges Buet in Faucigny im September 1770 zufällig ein eiserner Ring, welcher das äußerste Ende eines zerspaltenen Stockes zusammenhalten sollte, und der im flachen Lande bei heiterem Himmel mit dem Hammer fest aufgetrieben war, sich auf dem Gipfel des Berges freiwillig abtrennte.

Das Hygroskop des Pater Joh. Baptist von Vicenza hatte als wesentlichen Bestandtheil einen Streifen Goldschlägerhäutchen und war dem Saussure'schen Instrumente nachgebildet.

Thoaldo und Chiminello, Astronomen zu Padua, gewannen 1783 einen Preis, welchen die Akademie zu Mannheim für Verfertigung harmonischer

---

*) Act. acad. Imp. sc. Petrop. 1778. P. II. p. 193.

**) Phil. Transact. T. LXI. 1771. P. I. n. XXIV. p. 198.

***) Atti dell'Accad. Pistojese. T. I. p. 240.

****) Neue Abhandl. der königl. Schwed. Akad. der Wiss. 1782. Bd. III. (d. Uebers. Leipzig 1785) S. 80.

*****) Essais sur l'hygrometrie. Neufchatel 1783. Deutsch: Versuch über die Hygrometrie von J. D. T. Leipzig 1784.

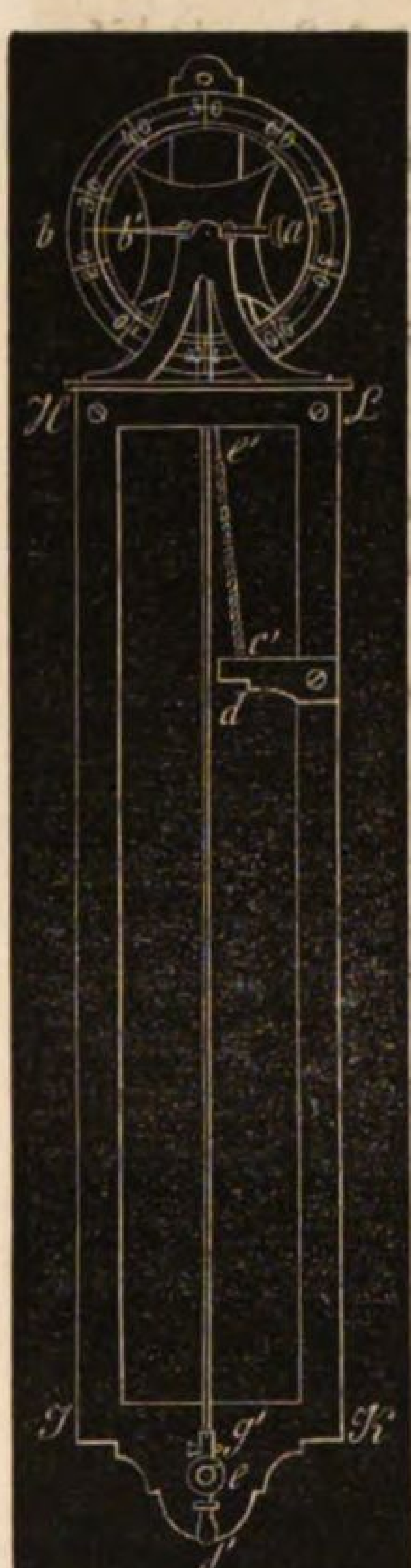
†) Philos. Transact. T. LXIII. 1773. No. 38. p. 404. Journ. de Phys. T. V. 1775. p. 381. Phipps, a voyage towards the north-pole. Lond. 1774.

Hygrometer ausgesetzt hatte *). Sie schlugen einen mit Quecksilber gefüllten Federkiel vor.

Benj. Franklin rieth einen Streifen von Mahagonyholz zu benutzen **). Denselben Vorschlag machte auch Gough ***).

Abbé Mann hatte die Idee, die Feuchtigkeit der Luft durch die Größe der Wirkung der Elektrisirmaschinen zu messen ****).

Riché, Mechanikus in Paris, änderte das Instrument von Saussure in sofern ab, als er statt eines einzigen Haares deren acht mit einander verband *****).



Benoit construirte ein Hygroskop aus Strohpapier †), welches indessen schon früher von Blackadder ††) empfohlen war.

Das meiste Ansehen unter allen Hygroskopen haben das Fischbeinhygroskop von de Luc und noch mehr das Haarhygroskop von Saussure erhalten. Es möge daher noch eine genauere Beschreibung dieser Instrumente folgen.

De Luc's Fischbeinhygroskop †††) besteht aus einem Rahmen von Messing HJKL (s. nebenstehende Fig.), welcher oben den getheilten Kreis trägt. Vor diesem ist der sehr genau balancirte, vermittelst höchst feiner Axen leicht bewegliche Zeiger a'b' mit einer kleinen Rolle versehen, deren Rand eine doppelte vertiefte Furche hat. Als hygroskopische Substanz dient ein 0.5 L. breiter und etwa 8 Z. langer Streifen Fischbein, welcher von einem platten Kieferstücke vermittelst eines eigenen Hobels nach der Richtung der Querfibern abgeschnitten wird; am unteren Ende ist dieser in dem auf- und abwärts verschiebbaren, durch die Klemmschraube c festzustellenden Stifte g'd' befestigt, oben in einem kleinen Zängelchen, welches an einem Faden befestigt ist und durch diesen mit sehr geringer Kraft aufwärts gezogen wird, um den Streifen stets etwas gespannt zu erhalten. Der Faden nämlich ist um die angegebene Rolle in der einen Furche ihres Randes zweimal umgeschlungen, ein anderer Faden aber um die nämliche Rolle in ihrer zweiten Furche nach entgegengesetzter Richtung geführt und mit dem anderen Ende an der sehr feinen schraubenförmig

*) Ricerche sulla comparabilita dell' Igrometro. Manheim 1783. Traduzione dal franzese. Vicenza 1785.

**) Transact. of the American Society of Philadelphia. T. II. (London 1786) p. 51.

***) Tilloch's Phil. Magaz. T. XXXIII. p. 177.

****) Comment. Acad. Theodoro-Palat. VI. Classis Physica. Mannh. 1790. No. 4. p. 72.

*****) Journ. de Phys. 1789. p. 58.

†) Dingler's polytechn. Journ. Bd. XXXV. S. 252.

††) Dublin Philos. Journ. T. I. p. 150.

†††) Gren's Journ. Bd. V. S. 279. Bd. VIII. S. 141. Phil. Transact. T. LXXXI. p. 1 u. 389; T. LXXXII. p. 400. Idées sur la Météorol. T. I. Sect. 1. ch. 3. Journ. de Ph. T. XXXII. p. 132.

gewundenen Drahtfeder e'c' befestigt, welche ihn und also auch den Fischbeinstreifen in der erforderlichen Spannung erhält, und mit ihrem anderen Ende an dem Halter d befestigt ist. De Luc verfertigte solche Fischbeinstreifen von 1 F. Länge, welche nicht mehr als 0,25 Gran wogen, dennoch 0,3 Unzen Gewicht trugen, und wovon 8 Z. sich zwischen den beiden festen Punkten um 1 Z. ausdehnten. Zuerst vermochte der Erfinder dieses Apparates nur den Punkt der größten Feuchtigkeit zu bestimmen, und glaubte diesen bei allen Hygrometern nur durch Eintauchen in Wasser erhalten zu können; für den Punkt der größten Trockenheit hielt er die Anwendung des Feuers nothwendig, und weil die hygroskopischen Substanzen aus dem Thier- und Pflanzenreiche dieses nicht ertragen, so übergab er 1781 sein erstes mangelhaftes Werkzeug der Par. Akademie ohne diesen zweiten Normalpunkt. Bald nachher glaubte er indeß auch diesen erhalten zu können, wenn er das Instrument in einem zinnernen mit ungelöschtem Kalke zum Theil angefüllten Kasten einige Tage aufhänge. Das Intervall zwischen diesen beiden festen Punkten theilte er in 100 Theile und glaubte hiernach ein vollkommenes Hygrometer erhalten zu haben *).

Saussure hat dem de Luc'schen Instrumente mit Recht den Vorwurf gemacht, daß sein Feuchtigkeitspunkt unrichtig bestimmt sei, weil es sich beim hygrometrischen Gebrauch nicht darum handelt, wie viel Wasser überhaupt ein Körper aufnehmen kann, sondern wie viel er der mit Dämpfen erfüllten Luft zu entziehen vermag. Darum haben auch die Grade über 80 keine hygrometrische Bedeutung mehr, indem ein solches Hygrometer in ganz mit Dampf gesättigter Luft nahe auf 80° weist. Nach Saussure liegt auch der Punkt der größten Trockenheit nicht richtig, wahrscheinlich zu nahe am ersteren. Um die Angaben des Saussure'schen Instrumentes auf das Fischbeinhygrometer reduciren zu können, hat de Luc folgende Tabelle angegeben.

Fischbein	Haar	Fischbein	Haar
Trocken 0	0,0	50	85,4
5	12,0	55	88,4
		60	90,8
10	29,9	65	92,8
15	39,9	70	95,1
20	50,8	75	97,1
25	58,8	80	98,1
30	65,3	85	99,1
35	70,8	90	99,6
40	76,1	95	100,0
45	81,4	100	99,5

Diese Tabelle bestätigt, was de Luc durch sorgfältige Versuche dargethan hat, daß nämlich das Haar (und so nach de Luc alle hygroskopischen Substanzen,

*) Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. V. S. 602.

welche nach der Länge der Fasern angewandt werden) in der Nähe des von ihm (de Luc) angenommenen Punktes der größten Feuchtigkeit, nämlich beim Eintauchen in Wasser, sich unregelmäßig ausdehne.

Das Gerippe des Haarhygroskopes von Saussure (s. beistehende Figur) bildet einen messingenen viereckigen Rahmen, von etwa 12 Zoll Länge und 3 Zoll Breite mit der nöthigen Einrichtung um das Haar, den Zeiger und die Scala anbringen zu können. Am oberen Theile befindet sich ein Schraubenkloben a, der das obere Ende des Haares hält und selbst durch eine Hülse b geht, welche mittelst einer Schraube c an den Rahmen befestigt ist, damit er sanft mittelst einer eigenen Mikrometerschraube d gehoben und gesenkt werden kann. Am unteren Theile befindet sich die Gabel zur Aufnahme des Zeigers e f. Dieser besteht aus zwei Theilen, wovon der eine dazu dient, die Feuchtigkeitsgrade anzugeben, der andere, das Haar aufzunehmen und zu spannen. Der erstere bildet einen meistens verjüngt zulaufenden Stift, der letztere besteht aus einem 1 L. dicken Rollenstück von etwa 2 L. im Halbmesser mit 2 Einschnitten oder Zargen, die gegen Innen zu immer enger werden und wovon eine für das Haar, die andere für den Faden bestimmt ist, an welchem das Gegengewicht hängt. An jedem Ende der Zarge befindet sich ein kleiner Kolben mit einer Schraube; der untere ist zur Befestigung des Haares, der obere zur Befestigung des Seidenfadens bestimmt, der das Gegengewicht trägt. Die Welle, um welche sich der Zeiger dreht, muß vollkommen kreisrund, möglichst dünn, und wo möglich aus Glockengut, nicht aus Stahl bestehen, damit sie nicht rosten kann; das Ganze muß genau äquilibrirt sein und daher unbelastet in jeder Lage stehen bleiben. Uebrigens ist es vortheilhaft, den Zeiger eines Instrumentes, das zum Transport bestimmt ist, in seiner untersten Lage befestigen zu können, damit die Erschütterungen, denen es ausgesetzt ist, das Haar nicht afficiren. Zu diesem Zwecke befindet sich am unteren Theile des Rahmens eine Art Sperrhaken l, der durch Lüften einer Schraube m beweglich gemacht, durch Anziehen derselben aber befestigt wird. Soll das Instrument transportirt werden, so bringt man mit einem Finger den Zeiger in die unterste Lage, lüftet die Schraube m und hebt den Sperrhaken so weit, daß sein längerer Schenkel die Rolle und der kürzere das Gewichtchen hält und befestigt ihn in dieser Lage durch Anziehen obiger Schraube. Die zu Hygrometern bestimmten Haare müssen fein, weich, nicht gekräuselt und noch weniger gespalten sein, von einem gesunden lebendigen Kopfe geschnitten, nicht von selbst ausgefallen sein. Blonde Haare haben diese Eigenschaften öfter beisammen als dunklere. Sie brauchen nicht länger als 10 Zoll zu sein, denn da sich ein Haar in gut zubereitetem Zustande vom Punkte der äußersten Trockenheit bis zu dem der größten Feuchtigkeit um 0,0245 seiner Länge ausdehnt, so entspricht einem Grade eine Verlängerung von 0,000245, oder wenn die Länge des Haares 10 Zoll beträgt, 0,0294 L. Hat die Rolle 2 L. im Halbmesser und der Zeiger 3 Zoll Länge, so fällt ein Grad 0,529 L.



groß aus, und kann daher noch recht wohl in kleinere Theile durch das Augenmaß getheilt werden. Bevor man ein Haar zu einem Hygrometer verwendet, muß es vom natürlichen Fett befreit werden. Dieses geschieht nach Saussure's Anleitung auf folgende Weise: Man nimmt ein Büschel Haare von der Dicke eines Federkieles, legt sie einzeln aus einander und nähet sie in einen Leinwandsack von etwa 15 L. Breite ein, so daß sie von der Leinwand allseitig gedeckt werden, ohne einander zu berühren. Hierauf giebt man sie in einen langhalsigen Kolben mit 180 Gran Soda in 30 Unzen Wasser, erhitzt die Lösung, bis das Wasser kocht und unterhält das Kochen 30 Minuten lang, nimmt dann den Sack heraus, kocht ihn noch einmal einige Minuten lang in reinem Wasser, schneidet ihn dann auf, nimmt die Haare heraus, schwenkt sie in kaltem Wasser und läßt sie in der Luft trocknen.

Sind die getrockneten Haare rein, weich, glänzend, durchscheinend, und nicht verfilzt, so sind sie gewiß nicht zu stark gelauget; sind sie aber rauh, undurchscheinend und an einander hängend, so sind sie entweder zu lange oder in zu starker Lauge gekocht worden. Letzteres kann auch der Fall sein, selbst wenn man zwischen Wasser und Soda das rechte Verhältniß genommen und die Zeit des Kochens nicht über die Gebühr verlängert hat; ein zu rasches Sieden der Lauge oder der Gebrauch eines zu weiten Gefäßes kann die Verdünstung des Wassers und die Concentration der Lauge zu sehr begünstigt haben. Selten sind alle Haare, die aus derselben Lauge kommen, gleich stark gelaugt; man erkennt die weniger gelaugten daran, daß sie weniger durchsichtig sind als die anderen. Diese dehnen sich auch weniger, aber schneller aus, als die mehr gelaugten.

Hat man das Haar gehörig zubereitet und gut befunden, so spannt man es in den Rahmen ein, und bringt das Gegengewicht zum Spannen desselben an. Dieses soll nicht über 3 Gran betragen. Ist es größer, so läuft man Gefahr, daß es das Haar zu sehr dehne und in seiner Organisation so abändere, daß es durch die Feuchtigkeit unregelmäßig ausgedehnt wird. Man darf sich nicht dadurch irre machen lassen, daß das Haar anfangs von einem so kleinen Gewichte nicht völlig gespannt wird; sobald es einmal einer sehr feuchten Luft ausgesetzt war, tritt die Spannung schon ein. Ist das Haar eingespannt, so schraubt man eine beliebig getheilte Scale auf, und schreitet hierauf zur Bestimmung der zwei festen Punkte.

Zur Bestimmung des Feuchtigkeitspunktes nimmt Saussure eine 15 bis 16 Zoll hohe Glasglocke, benetzt sie inwendig mittelst eines Schwammes mit Wasser, hängt das Hygrometer hinein und setzt sie auf einen mit Wasser bedeckten Teller. Die Wirkung der Feuchtigkeit auf das Haar zeigt sich sogleich, besonders wenn man von Zeit zu Zeit an das Glas klopft und dadurch den Zeiger von etwa einwirkenden Hindernissen befreit. Gut gelaugte Haare erreichen schon nach einer Stunde die größte Ausdehnung und bleiben dabei, so lange die inneren Wände des Recipienten naß sind. Verlängert sich das Haar nach 2 bis 3 Stunden noch immer, so ist es zu stark gelaugt und man muß es durch ein weniger gelaugtes ersetzen. Dasselbe muß auch geschehen, wenn es rückgängig wird. Soll das Instrument besonders gut ausfallen, so muß man das Haar nach dieser Operation einige Tage den Veränderungen der Luft-

feuchtigkeit aussetzen, und dann den Punkt der größten Feuchtigkeit noch einmal bestimmen.

Die Bestimmung des Punktes der größten Trockenheit fordert mehr Umständlichkeit und ist nicht so leicht wie die des Punktes der größten Feuchtigkeit. Man muß sich da vorläufig das zum Austrocknen der Luft nöthige Material bereiten. Nach Saussure geschieht dieses auf folgende Art: Man nimmt einen cylindrischen Recipienten, der nicht viel weiter und höher ist, als daß das Hygrometer hineingeschoben werden kann, biegt ein Eisenblech von der Höhe des Recipienten so, daß es dessen halbe Breite einnimmt, legt es auf glühende Kohlen und bestreut es auf beiden Seiten mit einem aus gleichen Theilen Salpeter und rohem Weinstein bestehenden Pulver, damit es verpuffe und das Alkali zurücklasse und das Blech gleichförmig bedecke. Dieses Blech läßt man auch nach der Verpuffung noch $1/4$ Stunde lang schwach glühen, damit das Kali fester werde und nicht ablaufe. So wie dieses geschehen ist, verstärkt man die Hitze bis zum Dunkelrothglühen und unterhält diesen Grad eine Stunde lang, nimmt das Blech vom Feuer und läßt es so weit abkühlen, bis es ohne Gefahr in den Recipienten geschoben werden kann, den man vorläufig schon erhitzt hat, hängt auch das Hygrometer hinein, stellt alles auf einen Teller, und sperrt es mit Wachs oder Quecksilber luftdicht. Anfangs schreitet der Zeiger sehr schnell gegen den Punkt der größten Trockenheit zu, aber seine Bewegung wird immer langsamer, je näher er der äußersten Grenze kommt; er erreicht sie aber in der Regel erst nach 2 bis 3 Tagen und behält da einen bleibenden Stand. Um aber gewiß zu sein, daß dieses Stillstehen nicht blos von einem Gleichgewichte zwischen den Dünsten und der Luft herrühre, erwärme man den Apparat durch directes Sonnenlicht oder durch Kohlenfeuer. Geht bei der Temperaturerhöhung der Zeiger nicht weiter abwärts, sondern vielmehr aufwärts, so ist dieses immer ein Zeichen, daß die Austrocknung hinreichend weit getrieben sei und daß die Bewegung des Zeigers blos von der durch die Wärme bewirkten Ausdehnung des Haares herrühre. Sind die beiden fixen Punkte der Scale auf diese Weise bestimmt, so kann man die Scale verzeichnen.

In neuerer Zeit hat Regnault *) auch dies Hygroskop einer genaueren Untersuchung unterworfen. Er erklärt, daß er an der Saussure'schen Construction nichts Wesentliches zu ändern gefunden habe, nur glaube er, es sei besser, die Haare dadurch zu entfetten, daß man sie 24 Stunden in einer mit Aether gefüllten Röhre liegen läßt. Man bewahre dadurch den Haaren ihre ganze Haltbarkeit, und sie erlangten beinahe dieselbe Empfindlichkeit, wie wenn sie durch eine siedende Lösung von kohlensaurem Natron entfettet worden wären.

Den Punkt der Trockenheit bestimmte Regnault, indem er das Instrument in einen Glascylinder brachte, auf dessen Boden sich eine dicke Schicht concentrirter Schwefelsäure befand, und den er oben durch eine mattgeschliffene, eingefettete Glasplatte hermetisch verschloß. Nach ihm bewerkstelligt die concentrirte Schwefelsäure die vollständige Austrocknung rascher, als gebrannter Kalk oder Chlorcalcium.

*) Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 322 ff.

Regnault richtete nun seine Untersuchung darauf:

1) Ob Hygroskope aus einerlei Art von Haaren, die in einer und derselben Operation entfettet wurden, strenge vergleichbar seien. Als Resultat ergab sich, daß dergleichen Hygroskope zwar nicht strenge übereinstimmend gehen, aber doch so weit, daß sie für die meisten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können.
2) Ob dies der Fall sei bei Hygroskopen aus verschiedenen Haaren, die aber in einer und derselben Operation entfettet wurden. Das Ergebniß der Untersuchung war, daß dergleichen Instrumente keine großen Unregelmäßigkeiten in ihrem Gange darbieten.
3) Ob Hygroskope aus verschiedenen Haaren, die in verschiedenen Operationen, oder durch verschiedene Processe entfettet wurden, auch noch vergleichbar seien. Es zeigten sich in diesem Falle sehr große Unterschiede in den Angaben, selbst wenn die Instrumente an den Festpunkten mit einander stimmten.

Als Curiosum möge hier die Notiz eine Stelle finden, daß Pictet an dem Haare einer Guanschen-Mumie von Teneriffa, die vielleicht tausend Jahre alt war, in einem Saussure'schen Hygroskope eine befriedigende Empfindlichkeit beobachtet hat *).

Nach Regnault's zahlreichen Versuchen ist das nach Saussure's Vorschrift graduirte Instrument keineswegs vergleichbar und besitzt nicht die vorausgesetzte Empfindlichkeit, weil es oft eine ziemlich lange Zeit gebraucht, um auf seinen Gleichgewichtszustand zu kommen. Er giebt zwei Graduirungs-Methoden an, bei welchen man, statt blos die beiden äußersten Punkte der Scale festzustellen, an jedem Instrumente eine große Anzahl intermediärer Punkte bestimmt, welche die Curve seines Ganges zu construiren erlauben. Diese Curve ist keineswegs, wie Saussure voraussetzte, eine gerade Linie. Allein diese Graduirung ist eine feine und zeitraubende Operation, zu der man sich bei einem so leicht in Unordnung gerathenden Instrumente, wie dies Haarhygroskop ist, schwer entschließt. Aus diesen Gründen ist es zu wünschen, daß überhaupt die Beobachter einem Instrumente gänzlich entsagen, auf dessen Zustand sie niemals rechnen können.

Es sei nur noch bemerkt, daß man früher sich vielfach bemüht hat, aus den Angaben des Haarhygroskops die relativen Expansivkräfte des atmosphärischen Dampfes zu berechnen. Daß eine allgemein giltige Tabelle nicht möglich ist, ist nach dem Vorhergehenden klar; es wird daher genügen in Betreff dieses Punktes auf Baumgartner **) und Kämtz ***) zu verweisen.

In Betreff der Geschichte der Hygrometrie führen wir an von den älteren Werken:

Geschichte der Physik von Murhard. Göttingen 1799. Des ersten Bandes zweite Hälfte, Kap. 3. S. 725 — 928.

---

*) Bibliothèque Universelle de Genève. T. XXVII. 1824. p. 120.

**) Die Naturlehre, Supplementband. Wien 1831. S. 278 — 280, nebst Tab. XIII. und XIV.

***) Meteorologie. Bd. I. S. 327.

Aus neuerer Zeit:

Enumeratio ac descriptio hygrometrorum, quae inde a Saussurii temporibus proposita sunt, auct. A. G. Bunsen. Götting. 1830. (Preisschrift.) Und:

Suermani commentatio de definienda quantitate vaporis aquei in atmosphaera vel aëre quocunque. Lugd. Bat. 1831. (Preisschrift.)

H. C.

Hygroskop, s. Hygrometer.

Druck von Otto Wigand in Leipzig.

Druckfehler und Berichtigungen zum dritten Bande.

Seite	57	Zeile	3	von	unten	statt	hier lies hierher.
=	95	=	13	=	=	=	Strahlplatte l. Stahlplatte.
=	100	=	23	=	oben	=	Kruhl l. Fiedler.
=	105	=	24	=	=	=	wei l. bei.
=	148	=	15	=	=	=	davon l. daran.
=	150	=	15	=	unten	=	beobachteten l. die beobachteten.
=	151	=	9	=	=	=	Stöggerath l. Nöggerath.
=	157	=	7	=	oben	=	Westponit l. Westpoint.
=	162	=	10 u. 14	=	unten	=	Whight l. Wight.
=	184	=	18	=	=	=	gar l. dar.
=	199	=	3	=	=	=	Delarm l. Delarne.
=	253	=	4	=	oben	=	diese l. die Flasche.
=	279	=	17	=	unten	=	fast l. fest.
=	283	=	1	=	oben	=	Niederschläge l. Ruderschläge.
=	295	=	9	=	unten	=	Funkens l. Fluidums.
=	320	=	15	=	oben	=	Anordnung l. Anwendung.
=	349	=	3	=	unten	=	Ann. de chim. (1804) T. LI. p. 473 l. Poggend. Ann. Bd. LXV. S. 473.
=	380	=	13	=	=	=	geringere l. größere.
=	499	=	3	=	oben	=	$v^2 = 2g\frac{r}{\varrho}$ log. nat. $\frac{P}{p}$ l. $v^2 = 2g\frac{r}{\varrho}\pi$ log. nat. $\frac{P}{p}$.
=	543	=	24	=	=	=	1 : 2 l. 1 : R.
=	545	=	10	=	=	=	für β l. β für.
=	547	=	19	=	=	=	specifisches Gewicht l. absolutes Gewicht.
=	553	=	18	=	=	lies	für die Berechnung des Antheils Luft.
=	555	=	15	=	=	statt	c. l. c = a + b.
=	727	=	12	=	=	=	harte u. weiche l. weiche u. harte.
=	797	=	12	=	=	=	sich l. in sich.

Marbach, Gotthard Oswald,

Oswald Marbach's Physikalisches Lexikon Encyklopädie der Physik und ihrer Hilfswissenschaften: der Technologie, Meteorologie, Geographie, Geologie, Astronomie, Physiologie etc. nach dem Grade ihrer Verwandtschaft mit der Physik
Bd.: 3

Leipzig 1854